



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

**OPTIMALIZACE VZDUCHOTECHNIKY VÝROBNÍ
HALY**

OPTIMIZATION OF VENTILATION IN THE PRODUCTION HALL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Patrik Myjavec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR BLASINSKI, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Patrik Myjavec
Název	Optimalizace vzduchotechniky výrobní haly
Vedoucí práce	Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální právní předpisy ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Popis stávajícího stavu, analýza tématu a podkladů stavby, stanovení konkrétních cílů a metod řešení.

B. Minimálně 2 varianty optimalizace stávajícího stavu, podpořené CFD simulacemi. Jednočarové schémata rozvodů VZT systému a chlazení. Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.

C. Minimálně 1 varianta v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení (půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva).

Práce bude zpracována v souladu s platnými předpisy (zákony a vyhláškami, normami) pro navrhování zařízení techniky staveb.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Petr Blasinski, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práca sa v teoretickej časti zaoberá prirodzeným vetraním budov. Praktická časť sa zameriava na optimalizáciu vetrania pôvodného objektu pomocou CFD simulácie. Jedna vybraná verzia je riešená v projektovej časti diplomovej práce.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Prirodzené vetranie, vzduchotechnika, CFD simulácia, rýchlosť prúdenia vzduchu, teplota, modelovanie, výrobná hala

ABSTRACT

Diploma thesis is divided into two parts. The theoretical part deals with natural ventilation and the practical part focuses on the optimization of the ventilation in the original hall using CFD simulation. One of the solutions is proposed in the design part of the diploma thesis.

KEYWORDS

Natural ventilation, air-conditioning, CFD simulation, air flow velocity, temperature, modeling, production hall

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Patrik Myjavec *Optimalizace vzduchotechniky výrobní haly*. Brno, 2018. 91 s., 28 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Petr Blasinski, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Optimalizace vzduchotechniky výrobní haly* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Patrik Myjavec
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Optimalizace vzduchotechniky výrobní haly* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Patrik Myjavec
autor práce

POĎAKOVANIE

Týmto by som rád poďakoval svojmu vedúcemu diplomovej práce, Ing. Petrovi Blasinksému, Ph.D., za poskytnutie cenných rád, skúseností a času. Som vďačný za ochotu a príkladné vedenie počas celého procesu tvorby tejto bakalárskej práce.

Obsah

ÚVOD	11
------------	----

TEORETICKÁ ČASŤ

1. Prirodzené vetranie	13
1.1. Princípy prirodzeného vetrania	13
1.2. Druhy prirodzeného vetrania	20
1.2.1. Infiltrácia	20
1.2.2. Prevetrávaním	22
1.2.3. Aerácia	24
1.2.4. Šachtové vetranie	30
1.3. Solárne komíny	34
1.4. Výhody a nevýhody prirodzeného vetrania	35
1.5. Hybridné vetranie	36
1.5.1. Režimy hybridného vetrania a regulácia vzduchu	37
Záver	40

MATEMATICKO-FYZIKÁLNY MODEL

2. MATEMATICKO-FYZIKÁLNY MODEL	42
2.1. Úvod	42
2.2. Popis objektu	42
2.3. Okrajové podmienky	43
2.3.1. Výpočet prietoku vzduchu aeráciou	47
2.3.2. Rozmiestnenie aeračných otvorov	48
2.4. Tvorba modelu	49
2.4.1. Pre-processing – modelovanie priestoru	49
2.4.2. Pre-processing - Výpočtová sieť a okrajové podmienky	49
2.4.3. Processsing - Riešič	51
2.4.4. Post-processing – Vizualizácia a spracovanie výsledkov	51
2.5. Varianta 1 – Simulácia optimalizácie súčasného návrhu	52
2.5.1. Modelovanie koncových prvkov	53
2.5.2. Vizualizácia výsledkov	54
2.5.3. Výstupy zo simulačného programu	56
2.5.4. Vyhodnotenie a optimalizácia súčasného stavu	62

2.6.	Varianta 2 - Simulácia prirodzeného vetrania.....	63
2.6.1.	Vizualizácia výsledkov.....	64
2.6.2.	Výstupy zo simulačného programu	66
2.6.3.	Vyhodnotenie alternatívnej varianty	72
2.7.	Záver.....	72
PROJEKTOVÁ ČASŤ		
3.	TECHNICKÁ SPRÁVA.....	74
3.1.	Úvod	74
3.1.1.	Podklady pre spracovanie	74
3.1.2.	Klimatické podmienky miesta stavby.....	74
3.1.3.	Výpočtové hodnoty vnútorného prostredia	75
3.2.	Základné koncepčné riešenie	75
3.2.1.	Hygienické vetranie.....	75
3.2.2.	Energetické zdroje	76
3.3.	Popis technického riešenia	76
3.3.1.	Koncepcia vetracích a klimatizačných zariadení	76
3.4.	Meranie a regulácia.....	77
3.5.	Požiadavky na profesie.....	78
3.5.1.	Stavba	78
3.5.2.	Silnoprúd.....	78
3.5.3.	Zdravotná technika	78
3.5.4.	ÚT.....	78
3.5.5.	EPS.....	79
3.6.	Protihlukové a proti dažďové opatrenia.....	79
3.7.	Nátery a izolácie.....	79
3.7.1.	Nátery.....	79
3.7.2.	Izolácie	79
3.8.	Protipožiarne opatrenia.....	79
3.9.	Montáž, prevádzka, údržba a obsluha zariadenia	80
3.10.	Záver.....	81
3.11.	Funkčné schéma.....	82
3.12.	Výkaz výmer	83
	ZÁVER.....	84

POUŽITÁ LITERATÚRA	85
ZOZNAM OBRÁZKOV.....	88
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	90
ZOZNAM PRÍLOH.....	91

ÚVOD

V teoretickej časti diplomovej práce si rozoberieme základné princípy prirodzeného vetrania budov, druhy prirodzeného vetrania a využitie jednotlivých spôsobov vetrania.

Prvotnou úlohou práce je vypracovanie matematicko-fyzikálneho modelu výrobnéj haly podľa mojej bakalárskej práce *Vzduchotechnika výrobnéj haly*. Hlavnou úlohou je optimalizácia súčasnej varianty vetrania a vytvorenie alternatívneho typu vetrania výrobnéj haly a zhodnotenie oboch variant.

Projektová časť je zameraná na pôvodné riešenie návrhu VZT na úrovni projektu pre stavebné povolenie.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

TEORETICKÁ ČASŤ

1. PRIRODZENÉ VETRANIE

Prirodzené vetranie patrí k najstarším formám vetrania budov. Začiatky prirodzeného vetrania siahajú až do obdobia neolitu v Číne a prvé návrhy vychádzali z empirie a skúseností. V mnohých krajinách sa tradičné pasívne ochladzovanie budov vyvíjalo popri prirodzenom vetraní. Skúsenosti získané v priebehu storočí sú používané i v dnešnej dobe. Avšak moderné budovy si vyžadujú náročnejšie mikroklimatické podmienky, ktoré iba prirodzené vetranie nedokáže splniť. Dôležitým aspektom prirodzeného vetrania je jeho dizajn, ktorý sa začal vyvíjať začiatkom 20. storočia, odkedy pochádza teória neutrálnej roviny. Odvtedy technické znalosti a postupy značne pokročili. Napriek inovatívnym spôsobom vetrania je i v dnešnej dobe na našom území väčšina obytných a priemyselných budov vetraná prirodzeným spôsobom.

Hlavnou úlohou prirodzeného vetrania je zabezpečiť výmenu vzduchu vo vnútornom priestore vplyvom tlakového rozdielu. Tlakový rozdiel je vyvolaný účinkom prírodných síl vznikajúci rozdielom teplôt alebo pôsobením vetra. Z toho vyplýva, že sa pri užívaní budovy vytvárajú tlakové rozdiely a tým aj podmienky pre výmenu vzduchu.

1.1. Princípy prirodzeného vetrania

Prirodzené vetranie patrí k najhospodárnejším systémom vetrania nakoľko nevyžaduje elektrickú energiu ale je poháňané motorickými silami. Prirodzené vetranie rozdeľujeme podľa motorickej sily, ktorá toto vyvoláva na:

Prirodzené vetranie vyvolané vplyvom rozdielných teplôt

Archimedov zákon hovorí, že teleso ponorené do kvapaliny je nadľahčované hydrostatickou vztlakovou silou, ktorej veľkosť sa rovná tiaži kvapaliny s rovnakým objemom, ako je objem ponorenej časti telesa.

Vzorec pre výpočet vztlakovej sily:

$$F_{vz} = V_p \cdot \rho_k \cdot g \quad (1.1)$$

Kde V_p – objem ponorenej časti [m³]

ρ_k – hustota kvapaliny [kg/m³]

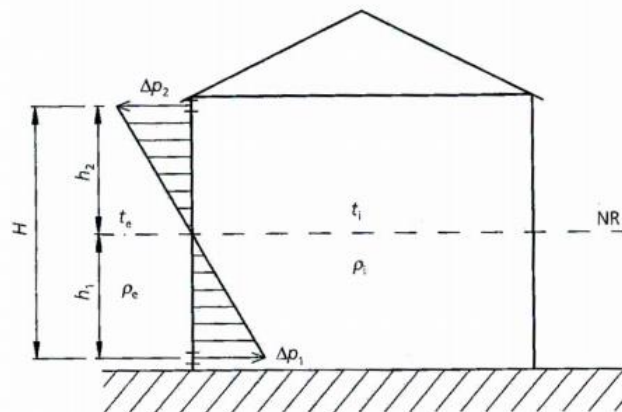
g – gravitačné zrýchlenie [m/s²]

Tento princíp môžeme aplikovať na prirodzené vetranie, založeného na rozdielnej teplote a hustote vnútorného a vonkajšieho vzduchu, kedy teplejší vzduch stúpa nahor a chladnejší nadol. Teplý vzduch s menšou hmotnosťou v dôsledku

gravitačného pôsobenia stúpa hore k stropu a chladnejší vzduch klesá k podlahe, dôsledkom tohto javu sa v miestnosti vertikálne rozdelia teploty. Ak je teplota vonkajšieho a vnútorného vzduchu rozdielna, potom sú aj ich špecifické hmotnosti rozdielne. Tlakový rozdiel, ktorý v takomto prípade vzniká, ak na stene vytvoríme dva vertikálne otvory vzdialené od seba vo výške H , môžeme vyjadriť týmito vzťahmi z hydrostatiky [1]

$$\Delta p_1 = h_1 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \quad [\text{Pa}] \quad (1.2)$$

$$\Delta p_2 = h_2 \cdot g \cdot (\rho_i - \rho_e) \quad [\text{Pa}] \quad (1.3)$$



Obrázok 1 Princíp rozdelenia tlakov [1]

Prietok vzduchu závisí od rozloženia tlaku po výške budovy ale aj od geometrie otvoru. Do interiéru jedným otvorom prúdi vzduch a druhým otvorom vzduch odchádza v tom prípade, ak platí podmienka ($\rho_1 \neq \rho_2$) t.j. ak teplota vnútorného a vonkajšieho vzduchu nebude rovnaká. Za predpokladu rovnomerného rozloženia tlakov v priestore bude vo vertikálnej rovine miesto, v ktorom je tlakový rozdiel rovný nule. Túto rovinu nazývame neutrálna rovina NR.

Vzorec pre výpočet prietoku prirodzeným vetraním:

$$V = C \cdot \Delta p^n \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (1.4)$$

kde Δp – tlakový rozdiel [Pa]

C – konštanta, bežne $C = 0,33$ pre popis vzduchotesnosti budovy podľa ČSN 73 0540

n – konštanta, - môže nadobúdať hodnoty od **0,5** (turbulentné prúdenie) do **1,0** (laminárne prúdenie). Závisí na rozmere netesností a rýchlosti prúdiaceho vzduchu. Pokiaľ exponent nie je známy, použije sa implicitná hodnota 2/3, ako je zvykom u okien.

Vzorec pre výpočet výmenu vzduchu v miestnosti:

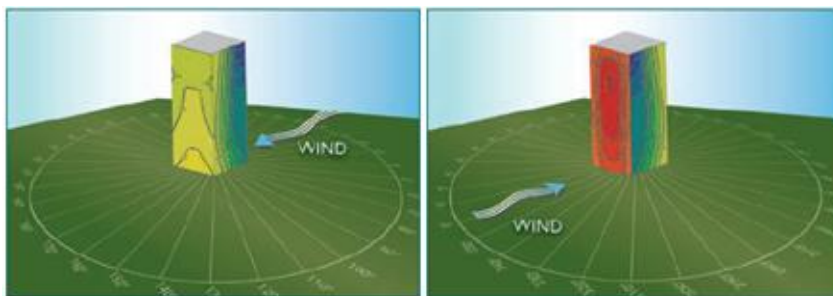
$$n = \frac{V}{O} \quad [1/h] \quad (1.5)$$

Kde V – Prietok vzduchu [m^3/h]

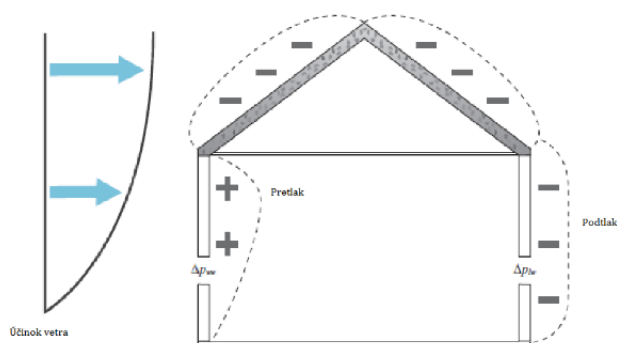
O – Objem miestnosti [m^3]

Prirodzené vetranie vyvolané pôsobením vetra

Pretlak oproti atmosférickému tlaku je vytváraný pôsobením vetra na náveternej strane budovy, ktorá je priamo vystavená účinku vetra. Podtlak oproti atmosférickému tlaku vzniká na záveternej strane a obtekaných stranách budovy. Tento tlakový rozdiel spôsobuje prúdenie vzduchu cez vnútorné priestory tak, že privádzajúce otvory sú v mieste pretlaku a odvádzajúce otvory v mieste podtlaku.



Obrázok 2 Pôsobenie vetra na budovu [8]



Obrázok 3 Rozdelenie tlakov vyvolaných vetrom [8]

Ak by sa na náveternej strane premenila celá pohybová energia vetra na tlakovú, absolútnu hodnotu by sme mohli vyjadriť

$$p_v = p_a + \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad [Pa] \quad (1.6)$$

kde p_v – tlak vyvolaný vetrom [Pa]

p_a – atmosférický tlak [Pa]

v – rýchlosť vetra [m/s]

ρ – špecifická hmotnosť [kg/m³]

V reálnych podmienkach nemôžeme uvažovať s úplnou zmenou pohybovej energie na tlakovú, preto na vyjadrenie pretlaku oproti atmosférickému tlaku môžeme použiť vzťah

$$p_v = A \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad [\text{Pa}] \quad (1.7)$$

Kde A – aerodynamický súčiniteľ, ktorý vyjadruje mieru premeny pohybovej energie na tlakovú (-)

v – rýchlosť vetra [m/s]

ρ – špecifická hmotnosť [kg/m³]

Aerodynamický súčiniteľ je empiricky odvodený parameter pre určenie skutočného pretlaku pôsobiaceho na budovu pôsobením vetra. Koeficient je závislý na geometrii budovy, rýchlosti a smeru prúdenia, polohy budovy, od vplyvu obklopujúcich prekážok budovy, terénnych nerovnostiach a pod. Všetky tieto javy ovplyvňujú hodnotu aerodynamického súčiniteľa A , preto sa zisťuje meraním na skutočných budovách, simuláciou prúdenia (CFD), ktorou je možné zistiť presnú hodnotu súčiniteľa A , ale aj z analytických vzťahov. Ak nie je súčiniteľ stanovený jednou z metód, odporúča sa v približných výpočtoch uvažovať s hodnotou $A=0,6$ na náveternej strane a $A= -0,3$ na záveternej strane [1].

Vplyv umiestnenia otvorov na prúdenie vzduchu v miestnosti

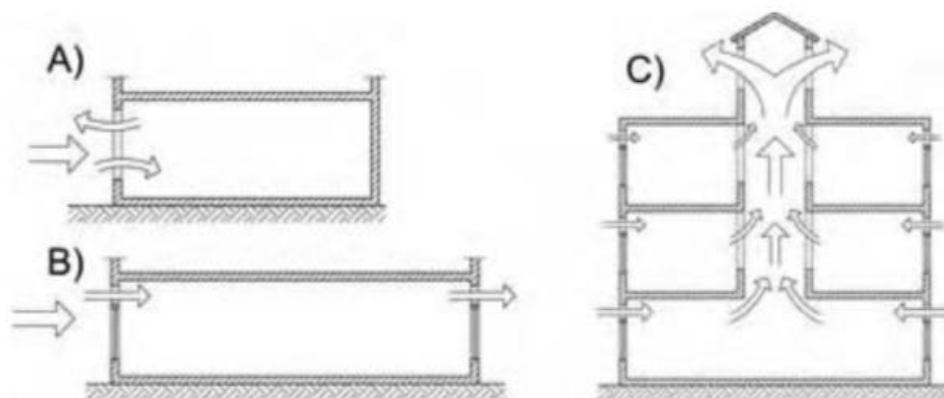
Princíp prirodzeného vetrania je založený na využívaní prírodných hybných síl. Môžeme ho rozdeliť do troch typov:

Jednostranné vetranie, kedy otvor na vetranie miestnosti je iba z jednej stene v miestnosti. Je poháňané v zimnom období veľkým rozdielom teploty a v letných mesiacoch pôsobením vetra. V porovnaní s ostatnými princípmi je nižšia intenzita vetrania miestnosti a čerstvý vzduch nepreniká tak ďaleko do priestoru.

Priečne vetranie, kedy otvory pre vetranie sú na dvoch alebo viacerých stenách miestnosti. Hlavnou hnacou silou je tlakový rozdiel medzi dvoma otvormi. Je možné dosiahnuť vysoký prietok vzduchu, ale kvôli rýchlym zmenám prúdenia vetra je veľmi

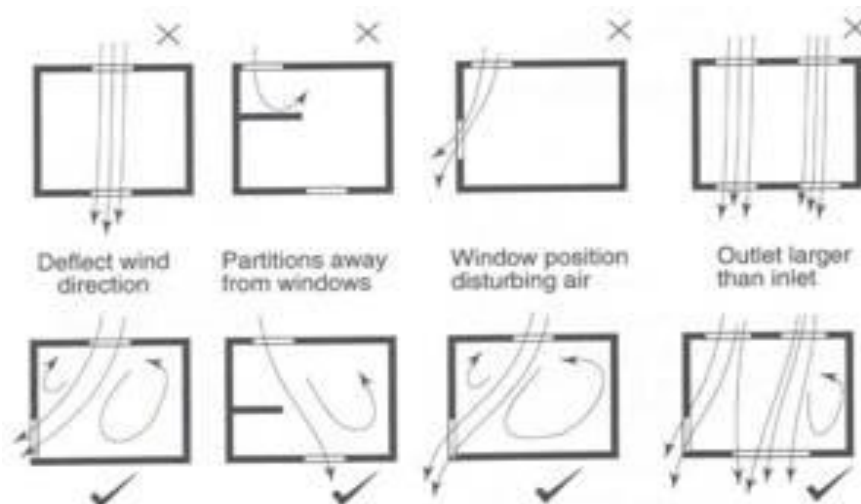
ťažké ho ovládať. Vzhľadom na to, že vonkajší vzduch prúdi miestnosťou, je možné vetrať väčšie hĺbky miestnosti.

Komínové vetranie, kedy otvory na vetranie sú umiestnené v nízkej a vysokej úrovni. Hlavnou hnacou silou je tepelný vztlak medzi otvormi. Vysoké a stabilné prietokové rýchlosti vetrania je možné dosiahnuť už pri stredných tepelných rozdieloch. Ak v miestnosti prúdi vetrací vzduch môžu byť vetrané aj hlbšie miestnosti.



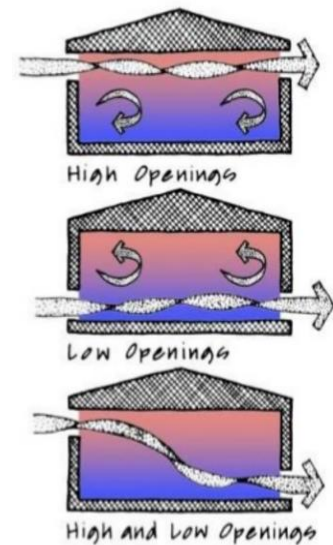
Obrázok 4 Prúdenie vzduchu v miestnosti [4]

Otvory v miestnosti majú dôležitý vplyv na prúdenie vzduchu v miestnosti. Na *obrázku.4* môžeme vidieť vhodné a nevhodné umiestnenie otvorov.



Obrázok 5 Prúdenie vzduchu v miestnosti [16]

Otvory, ktoré sú umiestnené v jednej rovine pod stropom alebo nad podlahou neprospievajú k správnej cirkulácii vzduchu v miestnosti. Ideálne rozmiestenie otvorov je, ak budú otvory inštalované rozdielnej výškovej úrovni, kvôli zabezpečeniu lepšej cirkulácii vzduchu.



Obrázok 6 Prúdenie vzduchu [7]

Zvyčajne sa v konkrétnej budove používajú rôzne princípy vetrania pre rôzne miestnosti v závislosti od vonkajšej klímy a správania užívateľa. Princíp jednostranného vetrania je využívaný napríklad v kanceláriách a to v prípade ak sú zatvorené dvere, zatiaľ čo pri otvorených sa bude využívať priečne alebo komínové vetranie. Pri otvorených dverách v budove je princíp vetrania v zime založený na komínovom efekte. Ak je teplotný rozdiel v lete veľmi malý bude využívaný princíp priečneho vetrania.

Princíp vetrania má dôsledky na tvar objektu, napríklad hĺbku. Jednostranné a do určitej miery aj priečne vetranie si vyžaduje relatívne úzke hĺbky stavebných objektov. Komínový efekt vetrania je možné použiť na podstatne hlbšie stavebné objekty a inštalovanie komínov na vstup a výstup, takmer bez obmedzenia na hĺbku budovy.

Prívodné otvory

Prívodné otvory pre nasávanie vzduchu musia mať nasledujúce charakteristiky:

- mať nízky pokles tlaku (je to dôležité najmä pre systémy prírodného vetrania);
- mať správnu polohu na zabezpečenie čistého a chladného nasávania vzduchu a účinného rozvodu vzduchu v budove;
- zabrániť vniknutiu dažďa, snehu, peľu, hmyzu atď.
- zabezpečiť vzduch v obytnej zóne bez zbytočného prievanu.

Použitie okenných otvorov na fasáde je najjednoduchším riešením pre výmenu vzduchu v interiéri. Na jednej strane, otvory majú veľmi nízku tlakovú stratu, ale druhej strane, majú tiež svoje obmedzenia pre ich použitie, napr. dážď, útlm zvuku a prievan. Zlepšiť výkon je možné navrhnutím fasády s oknami rôznych veľkostí a polôh s nastaviteľnými oknami, ktoré sú potrebné na to, aby mali užívatelia možnosť nastaviť objemový prietok vzduchu a podmienky tepelného pohodlia. V prípade využívania priečneho alebo komínového vetrania, bude najvyššia efektívnosť v zime, pretože vzduch

prechádza najväčšou vzdialenosťou a mieša sa s miestnym vzduchom ešte predtým než dosiahne pobytovú zónu. Tento typ je taktiež preferovaný pre nočné chladenie. V lete sú preferované otvory v blízkosti pobytovej oblasti, aby sa zvýšil pohyb vzduchu v okolí užívateľov. [4]

Odvodné otvory

Aby sa optimalizovali prirodzené hnacie sily, výfukový otvor musí byť umiestnený čo najvyššie, pretože vyššie rýchlosti vetra zvyšujú hnaciu silu vetra. Je dôležité, aby vietor vždy vytváral nízky tlak na výfukovom otvore. Otvor môže byť navrhnutý tak, aby bol nezávislý od smeru vetra alebo mal otváranie do rôznych smeroch, ktoré možno ovládať podľa prevládajúceho smeru vetra. [4]

Vysoko umiestnený výfukový otvor taktiež zvyšuje vzdialenosť od nasávacích otvorov a tým aj tepelnú vztlakovú silu, ktorú možno dosiahnuť aplikáciou výfukovej veže alebo komína. Toto usporiadanie znižuje riziko poškodenia vlhkosti v chladnom podnebí. V letnom období môže byť vztlaková sila zvýšená solárnym ohrevom vzduchu vo výfukovom komíne, t. j. použitím solárneho komína. [4]

V nízkopodlažných budovách sa strešné svetlíky často kombinujú s výfukovými otvormi. Tieto otvory na streche sú umiestnené relatívne blízko obytnej zóny a nemali by byť umiestnené v blízkosti pracovných miest, pretože množstvo studeného vzduchu v zimnej sezóne a vytváranie prievanu znižuje tepelnú pohodu. [4]

Tvar budovy

Využitie prírodných síl v budovách môže byť ovplyvnené výškou budovy. Ktoré vedú k rozlišovaniu v koncepcii prirodzeného vetrania. Rýchlosť a smer vetra je stabilnejšia a menej ovplyvňovaná okolitými budovami a vegetáciou v úrovni terénu. Vertikálna vzdialenosť medzi vstupným a výstupným otvorom je tiež významná pre využitie tepelného vztlaku. Vysoká budova má tendenciu využívať iné princípy ako nízka budova. Vhodným spôsobom triedenia podľa výšky budovy by bolo rozlíšenie výškových budov (viac ako 10 podlaží), stredne vysoké budovy (3-6 podlaží) a nízkopodlažné budovy (1-2 podlažia). [4]

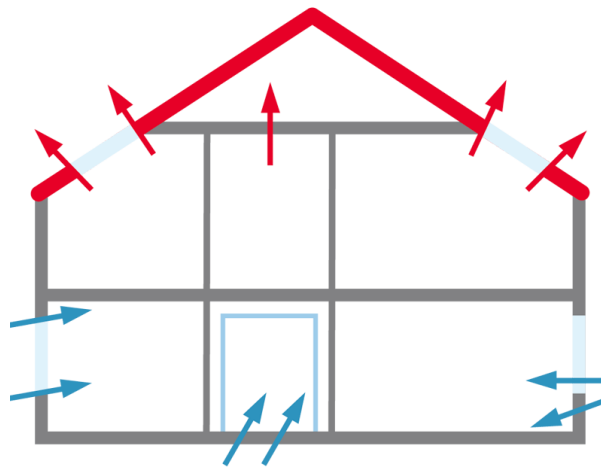
Geometria budovy je takisto úzko spojená s princípom prirodzeného vetrania. Distribúované a lineárne stavebné formy majú tendenciu používať jednostranné alebo priečne ventilačné princípy, zatiaľ čo kompaktnejšie budovy využívajú vetranie komínovým efektom buď použitím átrií alebo vetracích komínov. [4]

1.2. Druhy prirodzeného vetrania

Princíp vetrania vyvolaného rozdielom teploty a vetrania vyvolaného pôsobením vetra sa uplatňuje pri vetraní stavieb. Poznáme základné štyri metódy prirodzeného vetrania:

- infiltrácia,
- vetranie oknami,
- aerácia,
- šachtové vetranie.

1.2.1. Infiltrácia



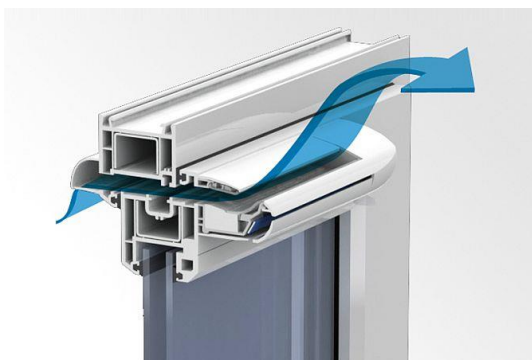
Obrázok 7 Infiltrácia obálkou objektu [20]

Infiltrácia predstavuje výmenu vzduchu v miestnosti, pričom vonkajší vzduch vniká do objektu cez netesnosti obálky budovy vplyvom rozdielných teplôt a pôsobením vetra. Za netesnosti obálky považujeme škáry okenných a dverových otvorov, styky obvodového muriva a poréznosť materiálov. Vetranie infiltráciou je najúčinnnejšie a najintenzívnejšie v zimnom období kedy je najvyšší rozdiel teplôt medzi interiérom a exteriérom. Na druhej strane nám infiltrácia v zime zvyšuje tepelné straty, preto je aj súčasťou výpočtu tepelných strát.

V dnešnej dobe moderné okná a dvere sú tesné, s nízkym súčiniteľom prievzdušnosti špáry tým je infiltrácia je obmedzená a nesplňuje hygienické požiadavky na prívod čerstvého vzduchu. Infiltráciu u okien je možné zlepšiť s integrovanými štrbinami na prívod vzduchu alebo nastavením okenného rámu do polohy, kde vznikne širšia štrbina. Tieto systémy nazývame mikroventilácia. Týmto spôsobom sa však väčšinou znížia tepelné a aj zvukovo izolačné vlastnosti okien.

Mikroventilácia, vlastne integrované štrbiny sa používajú v prírodných aj hybridných systémoch vetrania a s vývojom pasívnych aj elektronických

samoregulačných štrbinami so senzormi prietoku citlivými na smer ponúkajú dobré príležitosti na ovládanie prúdenia aj komfortu. Môžu tiež poskytnúť zvukový útlm a filtráciu v prípade potreby a zabrániť prenikaniu dažďa a snehu.



Obrázok 8 Okno s integrovanou vetracou štrbinou [21]

Výpočet infiltrácie:

Objemový prietok vzduchu, ktorý prúdi do miestnosti štrbinami okien a dverí vychádza zo vzťahu (1.8)

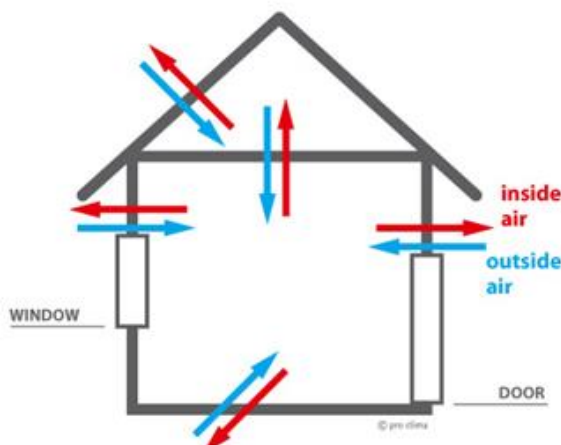
$$V = i \cdot l \cdot \Delta p^n \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1.8)$$

kde i - súčiniteľ prievzdušnosti štrbinami, $[\text{m}^3\text{s}^{-1}/\text{mPa}^n]$

l - dĺžka špáry $[\text{m}]$

$\Delta p = \Delta p_t + \Delta p_w$ - tlakový rozdiel vyvolaný vplyvom teploty Δp_t a pôsobením vetra Δp_w $[\text{Pa}]$

n - prietokový exponent prúdenia vzduchu špárkou, $n = 0,67$

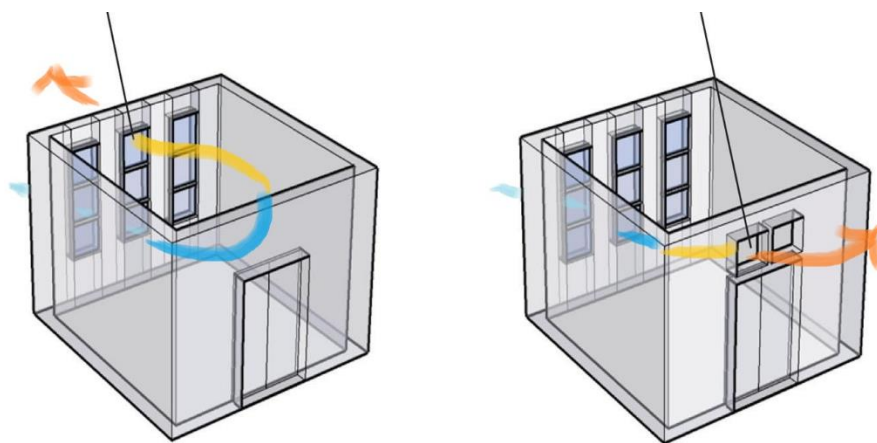


Exfiltrácia – vplyvom pretlaku odvod vnútorného vzduchu štrbinami okien a dverí do exteriéru.

Infiltrácia – vplyvom podtlaku prívod vonkajšieho vzduchu do budovy.

Obrázok 9 Infiltrácia a exfiltrácia obálkou budovy [13]

1.2.2. Prevetrávaním



Obrázok 10 Vetrание oknami [18]

Vetrание oknami je najpoužívanější spôsob vetrания v obytných a verejných budovách a dokonca je prijateľné normami aj pre výrobné haly (hlavne havarijné). Pri prevetrávaní sa môžu uplatniť oba princípy prirodzeného vetrания, teda vyvolané vetrom ako aj rozdielom teploty. Vetrание oknami je charakteristické tým, že jedným otvorom, teda oknom privádzame čerstvý vzduch a zároveň ho aj odvádzame. Otvorením okna dochádza k prevetrávaniu vetrанého priestoru. Tento spôsob sa aplikuje prerušovane, ak je vetrание veľkými prierezmi a krátko, tak je tento spôsob energeticky úsporný [2].

Za predpokladu rovnosti hmotnostných prietokov privádzaného a odvádzaného vzduchu, vplyvom nerovnosti hustoty oboch vzduchov sa neutrálna rovina, ktorá tvorí rozhranie medzi prúdmi vzduchu, posunie pod rovinu stredu okna. K odvodeniu prietoku vzduchu sa vychádza z rovníc pre tlaky a prietok vzduchu plošným elementom pre rozdiel teploty podľa nižšie uvedených rovníc. [3]

$$\Delta p = 0,5 \cdot w^2 \cdot \rho \quad [\text{Pa}] \quad (1.9)$$

$$\Delta p = x \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \quad [\text{Pa}] \quad (1.10)$$

$$dM = \mu \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \cdot \rho_i \cdot x} \cdot dx \quad [\text{kg/s}] \quad (1.11)$$

Pre predpokladaný ustálený stav ide pre rovnosť hmotnostných tokov prírodného a odvodného vzduchu po integrácii a úpravách odvodiť vzťah pre hmotnostný prietok vzduchu [3].

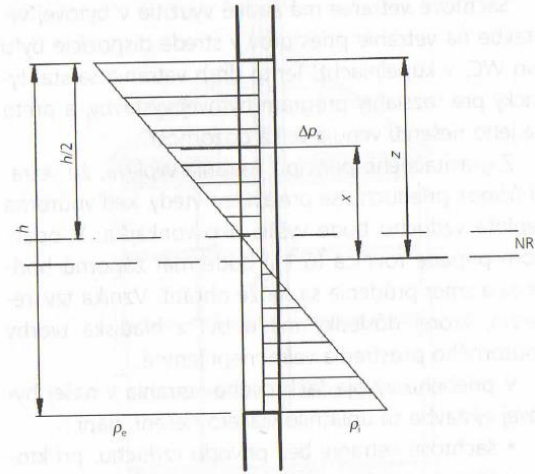
$$Vp = \frac{2 \cdot \mu \cdot a}{3 \cdot \rho_s} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \rho_e \cdot \rho_i (\rho_e - \rho_i) \cdot g}{[b^{-1} \cdot (\rho_i^{0,33} + \rho_e^{0,33})]^3}} \quad (1.12)$$

kde a – šírka otvoru [m]

b – výška okna [m]

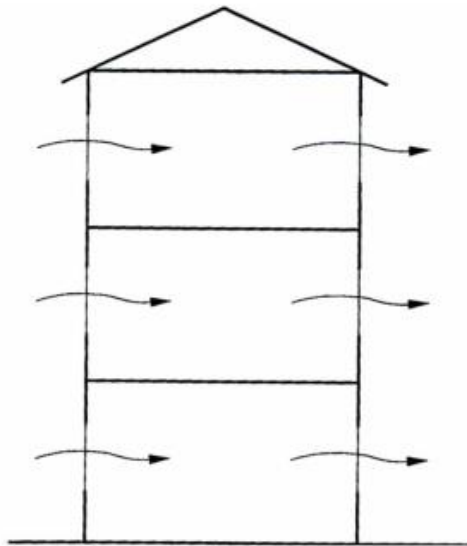
μ – výtokový súčiniteľ [-]

ρ_s – stredná hustota vzduchu [kg/m³]



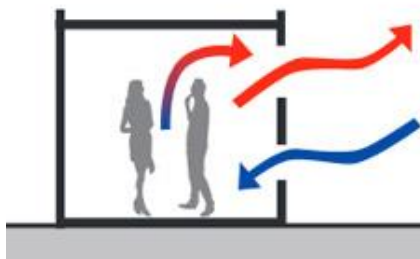
Obrázok 11 Rozloženie tlakov v otvore [1]

Priečne vetranie je vyvolané pôsobením vetra, prejaví sa vtedy ak na náveternej a záveternej strane otvoríme okná. Tento spôsob vetrania budovy je veľmi účinný spôsob prirodzeného vetrania [1].



Obrázok 12 Priečne vetranie budovou [1]

1.2.3. Aerácia



Obrázok 13 Aerácia [19]

Aerácia je spôsob výmeny v miestnosti pomocou otvorov umiestnených nad sebou, kde otvorom v dolnej časti privádzame vonkajší vzduch a otvorom v hornej časti vzduch odvádzame. Tento druh vetrania je vhodné používať najmä v priemyselných halách (napr. oceliarne, sklárne) s veľkou produkciou tepla.

V priemyselných objektoch v ktorých je produkované nadmerné teplo je vetranie pomocou aeračných otvorov často používaný spôsob a prírodné sacie otvory cez ktoré je privádzaný vzduch do miestnosti sú umiestnené v spodnej časti haly a odvodné otvory „svetlíky“ pomocou ktorých vzduch odvádzame sú navrhnuté v hornej časti.

Správna funkcia aeračného vetrania závisí od výpočtu a konštrukčného riešenia prírodných a odvodných otvorov, ktoré sú súčasťou stavebnej konštrukcie. Návrh aeračného vetrania spočíva v návrhu veľkosti a rozmiestnenia prírodných a odvodných otvorov.

V prípade dvoch otvorov o ploche S_1 a S_2 umiestnených v miestnosti nad sebou vznikne pri rozdieli teploty medzi exteriérom a interiérom pre $t_e < t_i$ rozdiel tlaku podľa rovnice (1.13). Za predpokladu rovnovážneho vetrania je hmotnostný prietok vzduchu m je vyjadrený rovnicou (1.14) [3].

$$\Delta p = H \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \quad [\text{Pa}] \quad (1.13)$$

$$m = S_1 \cdot \mu_1 a \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_e \cdot \Delta p_1} = S_2 \cdot \mu_2 a \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_i \cdot \Delta p_2} \quad [\text{kg/s}] \quad (1.14)$$

kde S_1, S_2 – prierezy prírodného a odvodného otvoru

μ_1, μ_2 – výtokový súčiniteľ pre privádzaný a odvádzaný otvor, bežne $\mu_1 = \mu_2 = 0,6 - 0,7$

ρ_e, ρ_i – hustoty vonkajšieho a vnútorného vzduchu

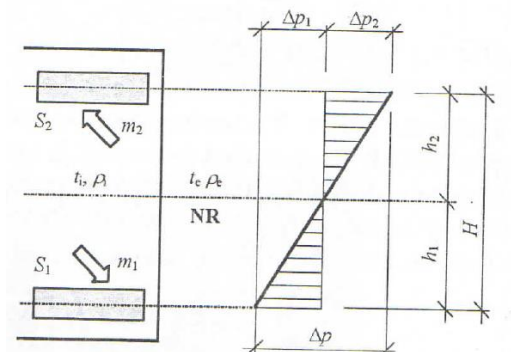
Pre predpoklad len vplyvom teploty a $S_1 = S_2 = S$ sa rovnica upraví tvar:

$$m = S \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_e \cdot \rho_i \cdot \frac{H \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i)}{\rho_e + \rho_i}} \quad [\text{kg/s}] \quad (1.15)$$

Pre objemový prietok vzduchu platí vzťah:

$$V_e = \frac{m}{\rho_e} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1.16)$$

$$V_i = \frac{m}{\rho_i} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1.17)$$



Obrázok 14 Rozloženie tlakov medzi otvormi [3]

Hodnoty prietokového súčiniteľa „ u “ sú závislé na konštrukcii otvoru a zisťujú sa experimentálne. Pre niektoré typické druhy otvorov sú uvedené v tabuľke nižšie (obrázok 15 – Hodnoty prietokového súčiniteľa u).

Konštrukcia otvoru	Uhol otvorenia	$b : l = 1 : 1$		$b : l = 1 : 2$		$b : l = 0$	
		ξ	μ	ξ	μ	ξ	μ
	15	16,00	0,25	20,60	0,22	30,80	0,18
	30	5,65	0,42	6,90	0,38	9,15	0,33
	45	3,68	0,52	4,00	0,50	5,15	0,44
	60	3,07	0,57	3,18	0,56	3,54	0,53
	90	2,59	0,62	2,59	0,62	2,59	0,62
	15	11,10	0,30	17,30	0,24	30,80	0,18
	30	4,90	0,45	6,90	0,38	8,60	0,34
	45	3,18	0,56	4,00	0,50	4,70	0,46
	60	2,51	0,63	3,10	0,57	3,30	0,56
	90	2,22	0,67	2,51	0,63	2,51	0,63
	15	45,30	0,15	–	–	59,00	0,13
	30	11,10	0,30	–	–	13,60	0,27
	45	5,15	0,44	–	–	6,55	0,39
	60	3,18	0,56	–	–	3,18	0,56
	90	2,43	0,64	–	–	2,68	0,61
	15	14,80	0,26	30,80	0,18	–	–
	30	4,90	0,45	9,75	0,32	–	–
	45	3,80	0,51	5,15	0,44	–	–
	60	2,96	0,85	3,54	0,53	–	–
	90	2,37	0,65	2,37	0,65	–	–
	15	18,80	0,23	45,30	0,15	59,00	0,13
	30	6,25	0,40	11,10	0,30	17,30	0,24
	45	3,83	0,51	5,90	0,41	8,60	0,34
	60	3,07	0,57	4,00	0,50	5,40	0,43
	90	2,37	0,65	2,77	0,60	2,77	0,60

Obrázok 15 Hodnoty prietokového súčiniteľa u [1]

Aplikácia v priemyselných halách

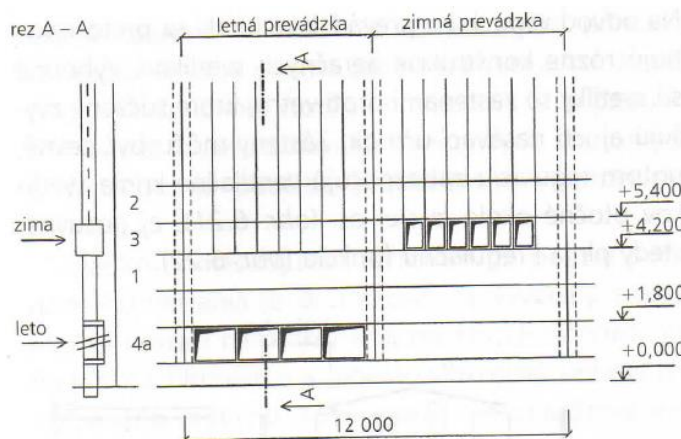
Vetrание aeráciou v halách musí byť navrhnuté aby zabezpečovalo dostatočnú výmenu vzduchu a spĺňalo hygienické limity dané vyhláškou. Tento spôsob vetrania je najvhodnejšie používať v priemyselných prevádzkach s tepelnou záťažou od 25 -80 kW/m³ alebo v horúcich prevádzkach s tepelnou záťažou nad 80 kW/m³. Prirodzené vetranie je vhodné do prevádzok, v ktorých je odvádzaný vzduch do vonkajšieho prostredia bez znečistenia a zhoršenia ovzdušia. Aeračné vetranie teda nie je vhodné do hál, kde sa vytvárajú škodliviny s väčšou hustotou ako má vzduch [1]. Vo veľkých prevádzkach je výhoda aerácie v tom, že je menšia spotreba energie v porovnaní s núteným vetraním a taktiež nízke prevádzkové náklady, jednoduchá údržba a malé investičné náklady.

V lete a v zime máme na našom území úplne rozdielne teploty. V lete sú vysoké teploty a aby sme zabezpečili dostatočnú intenzitu výmeny vzduchu je nutné navrhnuť väčšie plochy prírodných otvorov. Naopak v zimnom nám stačia menšie plochy prírodných otvorov. Preto dimenzujeme aeračné vetranie na dva prevádzkové režimy, a to zima a leto.

Ak je veľký rozdiel medzi vnútornou a vonkajšou teplotou (v zimných mesiacoch) je možné dosiahnuť požadovaný tlakový rozdiel Δp aj pri menších vzdialenostiach od odvodných otvorov. V zime môžeme inštalovať prírodné otvory, ktoré sú umiestnené vo väčšej výške od podlahy a menších rozmerov, ako veľké letné otvory umiestnené pri podlahe. Výhodou umiestnenia zimných otvorov je, že dosiahneme nezmenenú výmenu vzduchu a chladný vzduch nepôsobí do pracovnej oblasti a tým nezasahuje do tepelnej pohody pracoviska [1].

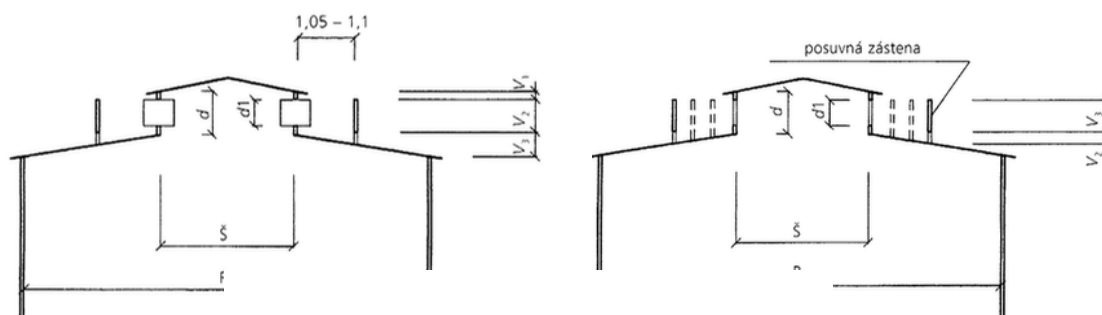
Pre správnu funkciu vetrania navrhujeme rozmiestnenie otvorov tak, aby bolo dostatočné prevetrание po celej hale a zároveň aby nenastalo priveľké ochladzovanie pracovníkov chladným vzduchom a veľkou rýchlosťou privádzaného vzduchu.

Aeračné otvory na prívod vzduchu v letnej prevádzke, ktoré sú umiestnené v obvode plášte sa navrhujú vo výške 1,5 – 2 m nad podlahou. V zimnom období sa navrhujú otvory vo výške 4 -5 m nad podlahou z dôvodu aby vonkajší chladný vzduch nezasahoval do pohybovej zóny a nespôsobil zníženie tepelnej pohody na pracovisku.



Obrázok 16 Umiestnenie letných a zimných otvorov [1]

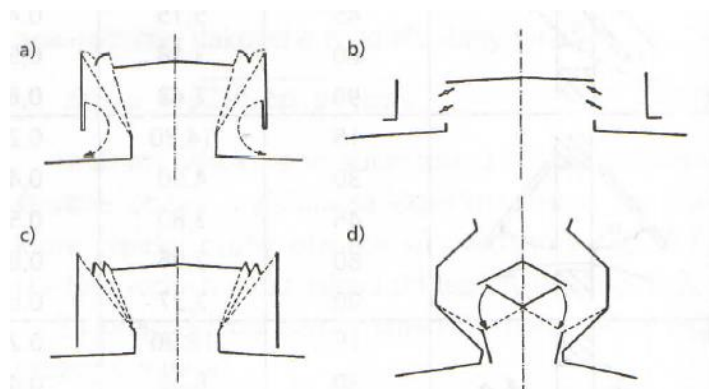
Na odvod vzduchu z haly sa využívajú otvory, ktoré sa umiestňujú priamo nad technologické zariadenia. Využívame rôzne typy konštrukcií ako sú napríklad svetlíky, posuvné svetlíky, strechy, odťahové šachty, prípadne špeciálne zariadenia na odvod vzduchu. Konštrukčné riešenie strešných svetlíkov môže byť odlišné. Pre zvýšenie nasávacieho účinku je ideálne využiť svetlík s veternou zástenou proti vetru aby sme zabránili jeho zafúkaniu. Poznáme dva typy zásten, pevné a posuvné. Pri pevných zástenách zabezpečujú reguláciu ventilačné krídla svetlíkov otočné okolo zvislej osi. Posuvné zásteny plnia regulačnú funkciu. [1]



Obrázok 17 Veterná zástena [1]

Obmedzenie negatívneho účinku vetra na aeráciu

V bežných prípadoch sa nepočíta s priaznivým účinkom vetra na aeráciu, kvôli jeho nestálosti. Pre správnu funkciu aerácie je nutné zabezpečiť opatrenia aby sme zabránili negatívneho účinku vetra. Najpoužívanejším typom odvodových otvorov sú u nás strešné aeračné svetlíky. Pred svetlíky sa osadzujú veterné zásteny. Tieto steny sa umiestňujú vo vhodnej vzdialenosti od vetracieho otvoru, ktoré zabraňujú priamemu zafúkaniu. Rôzne konštrukcie strešných svetlíkov, ktoré minimalizujú negatívny vplyv na odvodné aeračné otvory môžeme vidieť na obr. 18 [1].



Obrázok 18 Konštrukcie strešného svetlíka [1]

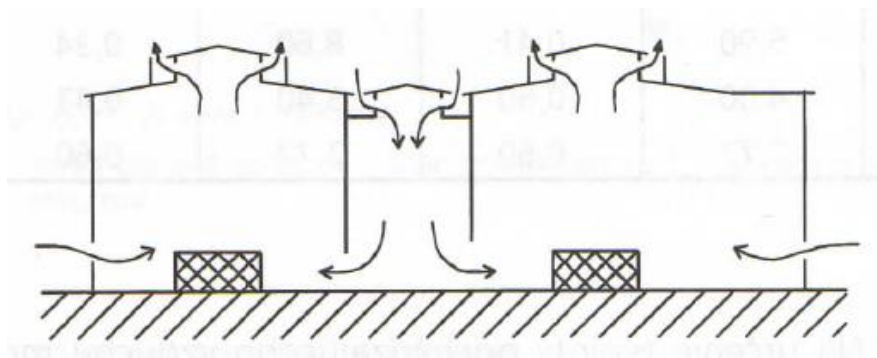
Ideálna poloha technologického zariadenia je v strede haly, súmerne v smere pozdĺžnej osi haly. Je to vhodné kvôli tomu aby nám prívod vzduchu dostal do všetkých častí objektu. a bol vetraný rovnomerne. Nevýhodne umiestnenie technologického zariadenia je v radoch za sebou kedy nám prvý rad zamedzí šírenie čerstvého vzduchu do objektu. Pri viacloďových halách sa odporúča umiestnenie tepelných zdrojov, tak aby sa striedali teplé prevádzky s prevádzkami bežnými. Taktiež je vhodné riešenie zabrániť šíreniu škodlivých látok do susedných lodí lokálnym odsávaním. [1]

Ak sa rozhodneme pre vetranie aeráciou, tak je vhodné myslieť aj na stavebné riešenie objektu. Pre aeráciu sú najideálnejšie jednoloďové haly do šírky 24-30 m a dôležitým faktorom je aj to, aby na pozdĺžne steny nenadväzovali prístavky ako napríklad sklady alebo administratívne zázemie. Technologické vybavenie je vhodné umiestniť do stredu haly, teda mimo pozdĺžnych stien na ktorých budú navrhnuté prírodné otvory na vetranie.

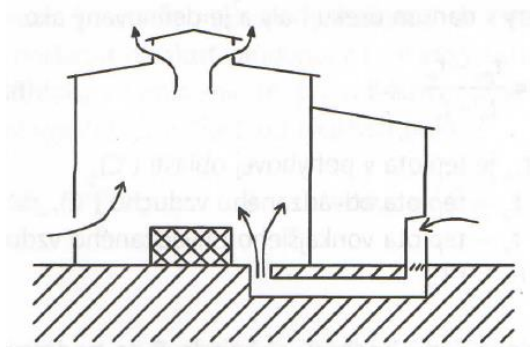
Aerácia viacloďových hál

Vetranie nie veľmi širokých hál alebo objektov aeráciou v prípade, ak by prírodný a odvodný otvor bol umiestnený nad sebou je dostatočné prevetranie ťažko splniť. Pri tomto návrhu by zostal stred haly nevetraný. Pri väčších rozpätiach môžeme riešiť prívod vzduchu [1]

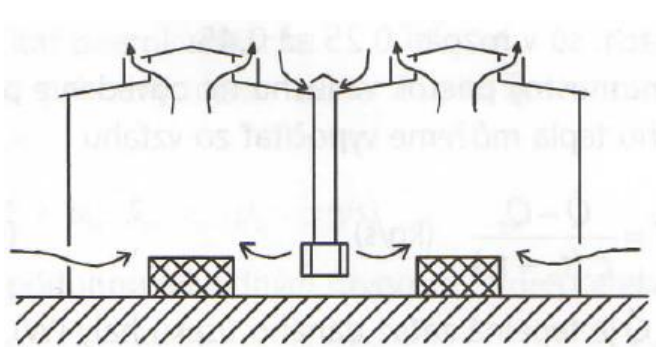
- Cez strešný svetlík susednej haly za predpokladu, že je v nej chladná prevádzka (obr.20),
- Kanálom pod podlahou s vyústeným do haly (obr. 21),
- Ventilátorom (obr.22)



Obrázok 19 Aerácia viacpodlažných hál [1]

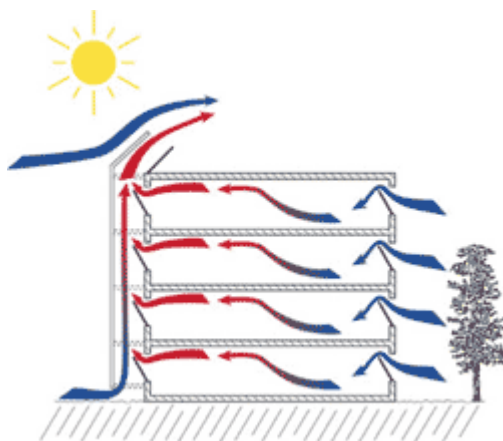


Obrázok 21 Prívod vzduchu podzemným kanálom [1]



Obrázok 20 Prívod vzduchu ventilátorom [1]

1.2.4. Šachtové vetranie



Obrázok 22 Šachtové vetranie [19]

Šachtové vetranie (*obr. 10*) je druh prirodzeného vetrania, pri ktorom je vzduch do miestnosti privádzaný sacou šachtou alebo otvormi z miestnosti a je odvádzaný výtláčnou šachtou nad strechu budovy. Napojením vetracieho otvoru na šachtu dôjde k zvýšeniu tlakového rozdielu medzi vetranou miestnosťou a vonkajším prostredím, tento tlakový rozdiel nazývame účinný ťah šachty a mení sa podľa vzťahu (1.18) [1]

$$\Delta p = h \cdot g \cdot (\rho_e - \rho_i) \quad [\text{Pa}] \quad (1.18)$$

Tento tlakový rozdiel sa spotrebuje na urýchlenie prietoku odvádzaného vzduchu šachtou na rýchlosť v a na prekonanie hydraulických odporov šachty, ktoré spôsobujú tlakové straty. Pre tlakovú stratu šachty platí vzťah [1]:

$$\Delta p = \frac{v^2}{2} \cdot \rho + \sum \lambda \frac{L}{d_e} \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho + \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho = \left(1 + \sum \lambda \frac{L}{d_e} + \sum \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2} \cdot \rho \quad [\text{Pa}] \quad (1.19)$$

kde λ – súčiniteľ trenia [-]

L – dĺžka prieduchu [-]

d – priemer šachty, pre nekrhové profily s obvodom U platí $d = 4S/U$

ξ – súčiniteľ miestneho odporu [-]

Rovnica (1.20) nám vyjadruje rýchlosť prúdenia vzduchu šachtou

$$v = \left(\frac{2}{\rho} \cdot \frac{\Delta p}{1 + \lambda \frac{L}{d_e} + \sum \xi} \right)^{0,5} \quad [\text{m/s}] \quad (1.20)$$

Alebo rýchlosť prúdenia pre výpočtovú teplotu t_{e1} (obvykle $t_{e1} = 10^\circ \text{C}$)

$$v = 0,4 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot (t_i - t_{e1})}{273 + t_{e1}}} \quad [\text{m/s}] \quad (1.21)$$

Alebo rýchlosť určiť pri zanedbaní tlakových strát

$$v = \sqrt{2 \cdot \Delta p / \rho} \quad [\text{m/s}] \quad (1.22)$$

A následne objemový prietok prieduchom

$$V = S \cdot v = S \cdot \left(\frac{2}{\rho} \cdot \frac{\Delta p}{1 + \lambda \cdot \frac{L}{d_e} + \sum \xi} \right)^{0,5} [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1.23)$$

Hmotnostný prietok vzduchu $m = V \cdot \rho = S \cdot v \cdot \rho$
(1.24)

Plocha šachty $S = \frac{V}{v}$ (1.25)

Tlakový rozdiel a zároveň aj prietok vzduchu a zlepšenia účinnosti ťahu šachty je možné využiť dynamický účinok vetru alebo termodynamický vztlak. Osadením samoťahovej hlavice alebo vetracej turbíny (obr.16) na koniec prieduchu šachty na streche budovy. Samoťahová hlavica využíva vietor ku zväčšeniu podtlaku odvádzaného vzduchu. Predbežný priemer hlavice môžeme určiť [3]:

$$d_p = 1,8 \cdot \sqrt{\frac{v_0}{v}} [\text{m}] \quad (1.26)$$

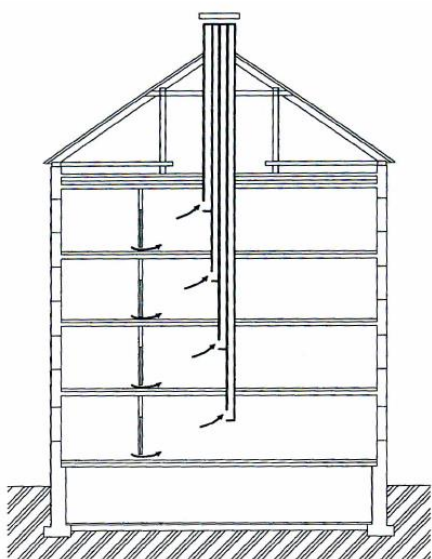
Ventilačná turbína využíva účinok vetra k vytreniu sacieho efektu. Ak je bezvetrie, vzniká sací efekt vplyvom termodynamického vztlaku teplého vzduchu, ktorý má energiu otáčať rotorom turbíny a tým vytvára v šachte trvalý podtlak. Rozmer turbíny určíme podľa podkladov od výrobcu [3].



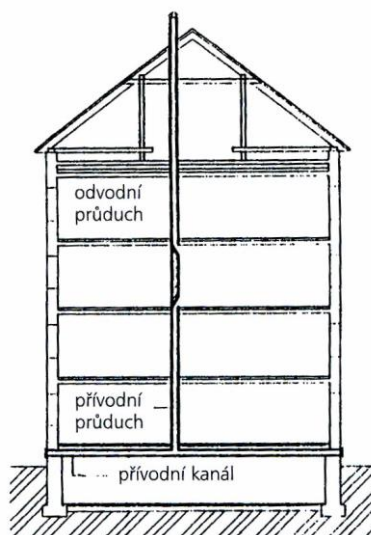
Obrázok 23 Vľavo samoťahová hlavica, napravo vetracia turbína

Šachtové vetranie sa využíva najmä na vetranie bytových stavieb pre vetranie hygienického zázemia (WC, kúpeľňa). V priebehu jeho vývoja vzniklo niekoľko typov.:

- *šachtové vetranie bez prívodu vzduchu (obr.17)* kedy sa odvádzaný objem vzduchu z miestnosti vyrovnáva s privádzaným objemom vzduchu z okolitých miestností cez netesnosti alebo otvory v deliacich konštrukciách,
- *šachtové vetranie s prívodom vzduchu cez prívodný prieduch (obr.18)*, ktorý zvyšuje účinok vetrania. Nevýhodou tohto typu je, že v zimnom období je privádzaný chladný vzduch, ktorý môže vplývať na tepelnú pohodu v kúpeľni a WC,
- *šachtové vetranie s pomocným a zberným prieduchom (obr.21)*, ktorý je výhodný pre zníženie počtu kusov prieduchov a tým aj zjednodušeným dispozičným riešením vo viacpodlažných objektoch. Základ tohto vetriaceho systému je vtom, že pomocný prieduch vyvedený je z každého podlažia o poschodie vyššie do zberného prieduchu, tým pádom nemusí mať každé podlažie samostatný prieduch ako pri „klasickom“ šachtovom vetraní.
- *šachtové vetranie s využitím účinku vetra (obr.19)* pre zvýšenie efektu výmeny vzduchu je na konci potrubia umiestnený samotaťhová hlavica, ktorá v prípade nedostatočného tlakového rozdielu, zvýši účinok vetrania
- *družené šachtové vetranie (obr.20)* je nezávislé na vonkajších meteorologických podmienkach, ktoré je schopné zabezpečiť dostatočnú účinnosť vetrania počas celého roku pomocou ventilátoru. Ventilátor vytvára dostatočný podtlak, čím zamedzuje prenikaniu škodlivým do miestnosti. Ventilátory môžu byť osadené v každom vetranom priestore napojené na vertikálny prieduch alebo postačuje jeden centrálny ventilátor pre jeden alebo viac prieduchov [1].

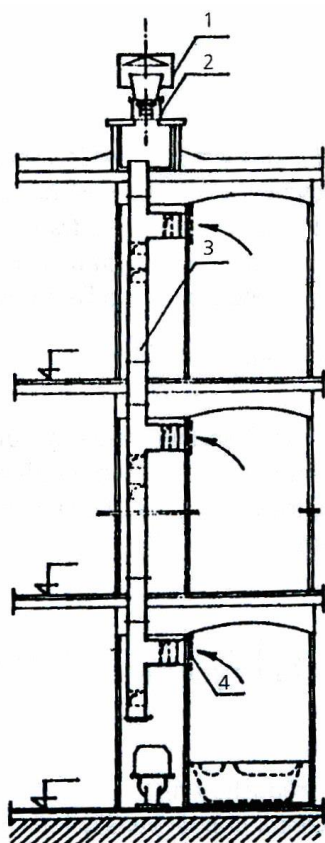


Obrázok 24 Šachtové vetranie bez prívodu vzduchu [1]

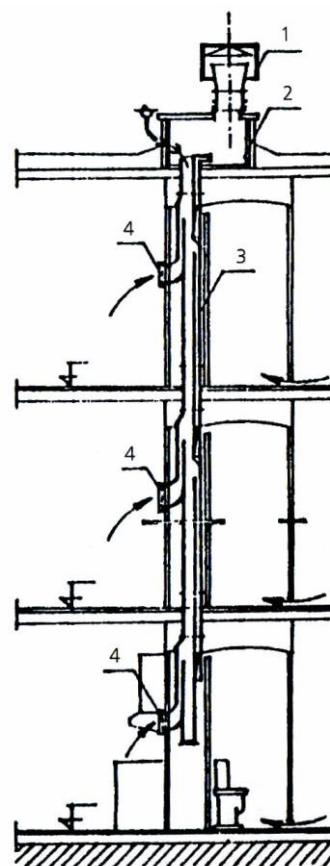


Obrázok 25 Šachtové vetranie s prívodom vzduchu [1]

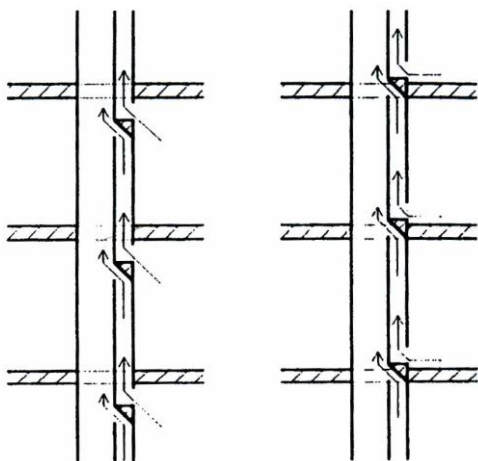




Obrázok 27 Šachtové vetranie spoločným [1]



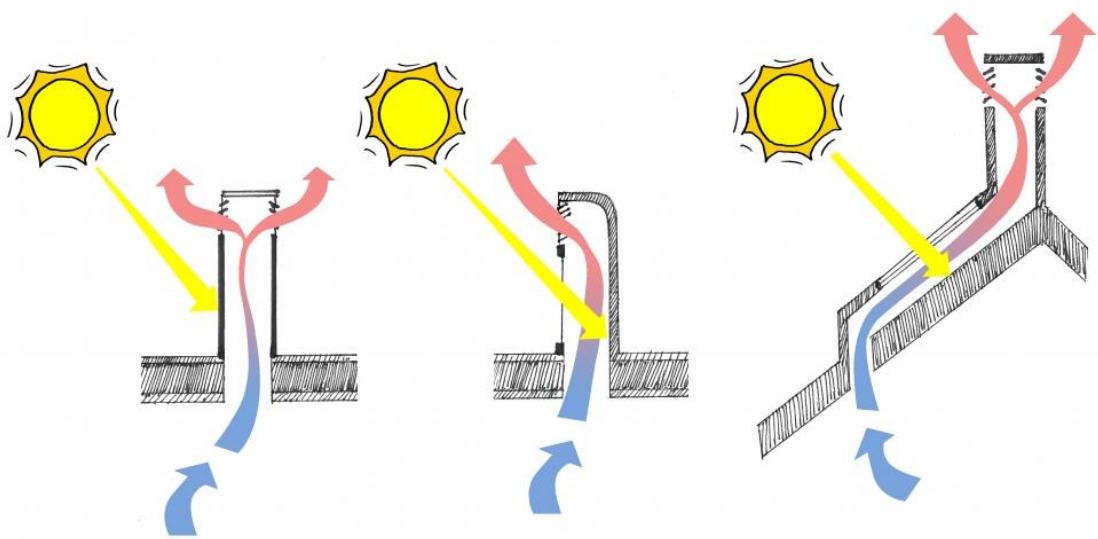
Obrázok 26 Združené šachtové vetranie [1]



Obrázok 28 Šachtové vetranie s pomocným a zberným prieduchom [1]

1.3. Solárne komíny

Solárne komíny nepatria medzi základné druhy prirodzeného vetrania. Využívanie slnečnej energie v prirodzenom vetraní nám pomáha k zlepšeniu prúdeniu vzduchu, zvýšením tlakového rozdielu medzi privádzaným a odvádzaným vzduchom. V princípe je solárny komín zvislá šachta umiestnená nad strechou, v ktorej sa prehrieva odvádzaný vzduch, tým dochádza k prúdeniu vzduchu vplyvom rozdielu hustôt vzduchu. Výhodou solárneho komínu je, že v letnom období pri vyšších teplotách sa v šachte výrazne zvýši teplota, zväčší sa tlakový rozdiel a posúva neutrálnu rovinu k horným podlažiam a napomáha k intenzívnejšiemu vetraniu.



Obrázok 29 Solárny komín [12]



Figure 7.11 Solar chimney on Tånga School, Sweden (Blomsterberg et al. 2002).

Obrázok 30 Solárny komín [4]

1.4. Výhody a nevýhody prirodzeného vetrania.

Prirodzené vetranie má mnoho výhod ale zároveň aj nevýhod. V nasledujúcich riadkoch zhrnieme pozitíva a negatíva prirodzeného vetrania.

Ľudia sa zaujímajú o prirodzené a hybridné vetranie kvôli vyššej kvalite prostredia v interiéri, nižšej spotreba energie a vplyvu na životné prostredie.

Budovy s prirodzeným vetraním sú spojené s menšími príznakmi SBS (Sick building syndrome) ako s klasickými ventilačnými systémami a sú dobre prijímané obyvateľmi. SBS sa prejavuje tým, že ľudia majú príznaky choroby a necítia sa v budove dobre, avšak bez zjavného dôvodu. [4]

Porovnávacia štúdia Hummelgaard et al. (2005) v piatich mechanicky vetraných budovách a štyroch prirodzene vetraných budovách naznačovali, že obyvatelia v prirodzene vetraných kanceláriách mali nižšiu prevalenciu symptómov než v mechanicky vetraných kanceláriách a hoci teplota vzduchu v miestnosti a koncentrácia CO₂ boli prirodzene vyššie vo vetraných kanceláriách, ich obyvatelia boli vo všeobecnosti spokojnejší s vnútorným prostredím. Viac obyvateľov v prirodzene vetraných priestoroch (60% v porovnaní so 41% pre mechanicky ventilované) neuprednostňovalo zmenu tepelného prostredia. [4]

Prirodzené a hybridné ventilačné systémy sú pre obyvateľov dobre prijímané a často vedú k vysokej spokojnosti užívateľov z dôvodu vysokého stupňa individuálnej kontroly vnútorného prostredia (adaptačný komfort), ako aj priamej a viditeľnej reakcie na zásahy užívateľa. [4]

Výhody:

- nulové nároky na energiu,
- nízke investičné náklady a prevádzkové náklady,
- prispieva k príjemnému prostrediu budovy,
- osoby, ktoré sa nachádzajú v budove s prirodzeným vetraním majú lepší pocit spojený spojenia s okolitým prostredím vďaka prísunu čerstvého vzduchu [4],
- nevyžaduje technickú miestnosť a potrubné rozvody [4],
- neprodukuje hlučnosť z ventilátorových zariadení

Prirodzená aj hybridná ventilácia majú aj nevýhody a konštrukčné obmedzenia. Vlhkosť vzduchu je najdôležitejším limitujúcim faktorom pri aplikácii prirodzeného alebo hybridného vetrania. Zvýšená úroveň vlhkosti má negatívny vplyv na tepelnú pohodu človeka. Výsledkom je, že v regiónoch s vysokou úrovňou relatívnej vlhkosti je počas leta potrebné používať klimatizačné systémy na odstránenie vodných pár z vnútorného

vzduchu. V týchto podmienkach by sa malo zabrániť prirodzenému vetraniu počas denného alebo nočného času. Ďalšou významnou nevýhodou je neistota výkonu, ktorá vedie k zvýšenému riziku prievanu alebo k nízkej kvalite vnútorného vzduchu v chladnom období a riziku neprípustných podmienok tepelného pohodia počas letného obdobia.

Hybridné systémy využívajú všetky princípy prirodzeného vetrania a preto umožňujú výber optimálneho režimu v závislosti od okolitých podmienok

Nevýhody:

- závisí od klimatických podmienok v ktorej sa budova nachádza [4],
- nedosahuje dostatočné ochladenie v teplejších klimatických podmienkach [4],
- prietok vzduchu nie je konštantný,
- nesprávny prvotný návrh prirodzeného vetrania môže byť ťažko riešiteľný [4],
- neumožňuje filtrovať ani úpravu vlhkosti privádzaného vzduchu [1],
- nie je vhodné do hlučných a znečistených období,
- nemožnosť riadenia systému vetrania

Najväčšou výhodou prirodzeného vetrania je jeho jednoduchosť a relatívne nízke investičné a prevádzkové náklady. Za nevýhodu považujeme, že správne fungujúce prirodzené vetranie je závislé na klimatických podmienkach a manuálnej regulácii (otváranie a zatváranie okien). Nedostatky tohto spôsobu vetrania je možné zaistiť núteným vetraním, ktoré nám nedokáže poskytnúť prirodzené vetranie. V niektorých prípadoch môže byť inštalácia okenných otvorov aj nevhodná. To znamená, že kvôli potrebe predhrievania, filtrácie vzduchu, útlmu vzduchu alebo aj bezpečnosti.

1.5. Hybridné vetranie

Finančne nenáročnou formou vetrania je systém hybridného vetrania. Využíva sa v prípadoch, ak prírodné sily nedokážu splniť požadovanú úroveň vetrania.

Princíp hybridného vetrania je založený na kombinácii prirodzeného a núteného vetrania a tým sa snaží zaistiť ideálne vnútorné prostredie. Mechanické a prírodné sily sú skombinované do dvoch režimov tak, že inteligentný systém dokáže automaticky prepínať medzi režimami a tým minimalizuje spotrebu energie a udrží ideálnu úroveň vnútorného prostredia. [13]

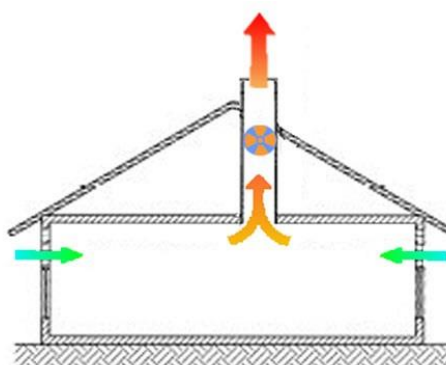
Odhadovanie počiatkových nákladov na hybridné ventilačné systémy v budovách môže byť dosť ťažké, pretože inštalácia sa často skladá ako z mechanických inštalácií, tak aj stavebných prvkov. Časť investícií do mechanických zariadení sa často posúva smerom

k väčšej investícii do samotnej budovy: zvýšenie objemu vzduchu v miestnosti na osobu, tvar priaznivý pre pohyb vzduchu, inteligentnejší fasádny / okenný systém atď. Na druhej strane budova môže poskytnúť viac použiteľného priestoru, pretože nie je potrebný priestor pre technologické priestory, vetracie komíny atď.

1.5.1. Režimy hybridného vetrania a regulácia vzduchu

Ako sme už spomínali, hybridné vetranie je založené na striedaní dvoch režimov a to prirodzeného a núteného. Prvý režim predstavuje vetranie pomocou rozdielnych teplôt alebo vplyvom pôsobenia vetra. Druhý režim využíva mechanické hnacie sily-ventilátory. Kombinácia oboch režimov pozitívne vplýva na znižovanie prevádzkových nákladov budovy a kvalitu tepelnej pohody vnútorného prostredia budovy [13].

Vetranie je regulované pomocou senzorov, ktoré monitorujú prietok vzduchu a ďalej upravujú na požadovanú hodnotu. Požadovanú hodnotu je možné nastaviť pomocou čidiel, ktoré merajú koncentráciu CO₂, alebo nastavením času podľa predpokladaného výskytu osôb v objekte [13].



Obrázok 31 Hybridné vetranie [17]

Ovládanie teploty miestnosti počas prevádzkových hodín v lete môže byť manuálne alebo automatické. Užívatelia majú veľmi individuálny pocit vlastného tepelného pohodlia, ale zvyčajne reagujú príliš neskoro, keď teplota je už nad povoleným teplotným limitom. Automatické ovládanie okenných otvorov, ako aj tieniacich systémov, môže byť prospešné, pretože zabezpečuje činnosť, akonáhle sa začne zvyšovať vnútorná teplota. Automatické riadenie izbovej teploty je taktiež potrebné vo veľkých miestnostiach, ktoré bývajú obsadené užívateľmi nepravidelne. Automatické riadenie izbovej teploty je tiež nevyhnutné, ak sa dosiahne komfort mechanickými prostriedkami - napríklad mechanickým chladením alebo prídavným mechanickým ventilátorom - núteným prúdením vzduchu. [4]

V našej zemepisnej šírke je počas leta zvyčajne malý rozdiel medzi vnútornou a vonkajšou teplotou vzduchu v teplých letných dňoch, to znamená obmedzený potenciál na zníženie teploty v miestnosti aj pri vysokom prietoku. V mnohých prípadoch môže byť potenciál chladenia tela pohybom vzduchu kvôli otvoreným oknám najdôležitejším v súvisiacim s tepelným komfortom. Ak je vonkajšia teplota vzduchu vyššia ako teplota vzduchu v miestnosti, vonkajšie prúdenie vzduchu zvýši izbovú teplotu. V takomto prípade je pomocou automatického riadiaceho systému možné efektívne využiť nočné chladenie mechanickým chladením alebo tienením slnečného žiarenia. Tu je možné vykonať pomocou systému zmenou ovládacieho režimu z regulácie teploty na reguláciu kvality vzduchu v priestore. [4]

Pri prirodzenej a hybridnej ventilácii je riadiaci systém integrovanou súčasťou samotného ventilačného systému. Preto je dôležité, aby ventilačný systém a riadiaci systém boli navrhnuté spoločne v jednom procese. Účelom regulácie vetrania je predovšetkým prispôbiť prietok vzduchu aktuálnemu dopytu, čo je nevyhnutné pre úspešné riešenie vetrania.

Hybridné ventilačné systémy môžu byť dosť zložité. Je však veľmi dôležité vyvinúť stratégiu kontroly a navrhnuť kontrolný systém, ktorý používateľom ľahko porozumie a môže ich prevádzkovať bežný užívateľ. Z tohto dôvodu je najdôležitejšia jednoduchosť a transparentnosť používateľského / systémového rozhrania. [4]

Kontrola dopytu je veľmi dôležitá v prírodných a hybridných systémoch vetrania a v mnohých prípadoch sa kontrola dopytu ukáže ako veľmi energeticky efektívna. Jedným z hlavných problémov, ktoré sa vyskytli pri automatickom riadení kvality vnútorného ovzdušia, sú však náklady a spoľahlivosť snímačov CO₂, ktoré sa používajú na reguláciu dopytu po vetraní. [4]

Ak je v každej zóne budov potrebný snímač, môže sa stať drahým, a to tak v počiatočných nákladoch, ako aj v pravidelnej kalibrácii. V niektorých prípadoch je potreba vetrania riadená infračervenou detekciou. Hlavnou výhodou tohto systému je jeho relatívne nízka cena (v porovnaní so snímačmi CO₂) a jeho autonómia (môže pracovať na batérii s dlhou životnosťou, nie je potrebné žiadne zapojenie). Hlavnou nevýhodou je to, že prietok vzduchu je len nepriamo korelovaný s dopytom. Niekedy môže byť prúd vzduchu príliš nízky alebo príliš vysoký. Detekcia prítomnosti môže byť dobrým prostriedkom na kontrolu potreby vetrania v miestnostiach s nízkou obmenou obsadenosti, napríklad v kancelárskych budovách. V niektorých prípadoch sa úspešne aplikoval aj v školských učebniach. Pri izbách, ako sú konferenčné miestnosti, je stratégia CO₂ vhodnejšia, pretože zvyčajne odhaduje skutočné potreby presnejšie. [4]

Striedanie prírodného a núteného vetrania

Jednou z hlavných charakteristík hybridného vetracieho systému je schopnosť automaticky prepínať medzi prírodnými a mechanickými režimami, aby sa optimalizovala rovnováha medzi kvalitou okolitého prostredia a používaním energie. Táto výzva sa líši medzi rôznymi hybridnými ventilačnými princípmi.

Pre systém s ventilátorom môže byť ventilátor riadený teplotou alebo vnútornou kvalitou vzduchu v miestnostiach, tlakom v prírodných alebo výfukových potrubíach alebo prietokom vzduchu cez ventilátor. Ak je ventilátor v prírode prirodzeného vetrania, ovládanie môže byť buď zapnuté alebo vypnuté, stupňovité alebo kontinuálne v závislosti od prirodzených hnacích síl. Ak je ventilátor paralelný s prívodom prirodzeného vetrania a využíva časť tej istej cesty toku, je ťažké mať nepretržité riadenie a určiť, kedy podmienky umožňujú opätovné vypnutie ventilátora.

Striedavá prírodná a mechanická ventilácia sa zvyčajne musí riadiť podľa vonkajšej teploty a vlhkosti. Alternatívne môže byť kontrolovaná časovým harmonogramom. Pre aktuálny režim ventilačného systému sú potrebné dobré informácie pre užívateľa.

Mnohí tvrdia, že v budúcnosti bude hybridné vetranie patriť medzi najperspektívnejšie technológie vetrania nakoľko skoro prirodzene prispieva ku kvalite vnútorného prostredia dosiahnutím čo najnižšej spotreby energie[13].

ZÁVER

Prirodzené vetranie sa využíva už mnoho rokov, aplikuje sa na dnešných budovách a v budúcnosti je otázne bude tento spôsob úplne nahradený núteným vetraním.

Vonkajšie klimatické podmienky, vietor alebo teplotu, nemôžeme považovať za ustálené. Celoročne sa počasie mení a preto používanie prirodzeného vetrania je obmedzené a funkčné len za istých podmienok aby vyhovelo požiadavkám.

V súčasných moderných budovách s vysokou neprievzdušnosťou obálky budovy je vetranie infiltráciou nedostatočné kvôli malému objemu privádzaného vzduchu.

Vetranie oknami je najpoužívanejší spôsob výmeny vzduchu v obytných budovách a rodinných domoch, kde nie sú kladené vysoké nároky na úpravy vzduchu. V budovách, v ktorých sú kladené kvalitnejšie podmienky mikroklímy vnútorného prostredia je vhodnejšie použiť nútené vetranie. Napríklad v nákupných centrách, kde je veľké množstvo ľudí a málo okenných otvorov je návrh prirodzeného vetrania nereálny.

Pri šachtovom vetraní využívame komínový efekt. V obytných budovách je použitie šachtového vetrania efektným spôsobom ako zabezpečiť výmenu vzduchu v hygienických miestnostiach.

V priemyselných budovách s veľkou produkciou tepla je možné využiť vetranie aeračnými otvormi, cez ktoré dokážeme odvádzať prebytočné teplo.

Solárne komíny si našli uplatnenie v teplejších pásmach zeme. Využívajú sa na prúdenie vzduchu aj pri veľmi vysokých teplotách s minimálnym pohybom vetra.

Moderný koncept vetrania, hybridný systém, ktorý je založený na kombinácii prirodzeného a núteného vetrania je perspektívny. Systém je jednoduchý a energeticky málo náročný, ale zhotovenie a skúsenosti s týmto typom vetrania sú momentálne obmedzené.

Prirodzené vetranie má svoje kladné aj záporné stránky a nie je možné vyjadriť jednoznačné stanovisko o vhodnosti tohto spôsobu vetrania.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

MATEMATICKO-FYZIKÁLNÝ MODEL

2. MATEMATICKO-FYZIKÁLNY MODEL

2.1. Úvod

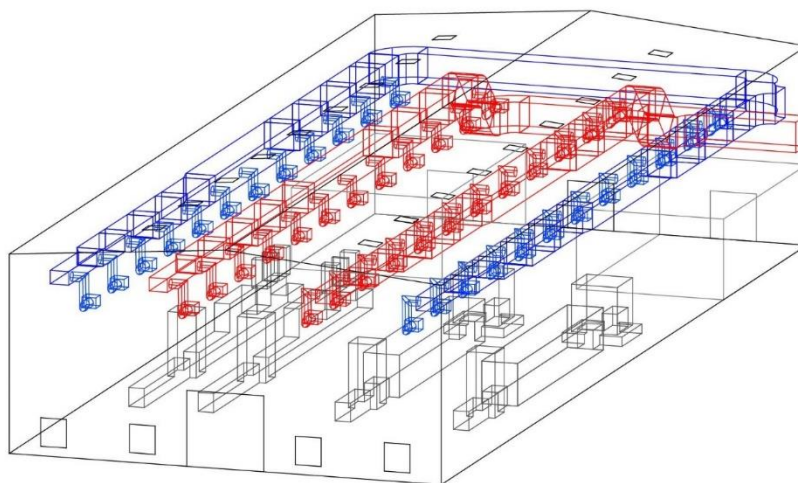
Predmetom diplomovej práce je spracovanie dvoch matematicko-fyzikálnych modelov pre výrobnú halu, ktorej návrh VZT je prevzatý z bakalárskej práce *Vzduchotechnika výrobní haly*. Objekt je tvorený z troch funkčných celkov, a to administratívne zázemie, výrobná hala a skladovacia časť. Pre výrobnú halu bola navrhnutá samostatná vzduchotechnická jednotka, ktorá zabezpečuje v letnom období chladenie a v zime dopomáha k vykurovaniu. V hale sú taktiež umiestnené výrobné stroje s väčšou produkciou tepla. Súčasťou haly sú dva vstavky, ktoré slúžia na servis zariadení a strojov.

V tejto časti boli spracované dve počítačové simulácie. Pre prvý model bola zvolená simulácia prúdenia vzduchu v hale za pomoci VZT jednotky. Sledovanými parametrami vo výrobnej hale boli hlavne rýchlosť prúdenia vzduchu v pobytovej zóne a teploty. Ako druhá alternatíva bolo vypracovanie návrhu prirodzeného vetrania haly. V tomto prípade boli taktiež sledované hlavne teplota a rýchlosť prúdenia vzduchu.

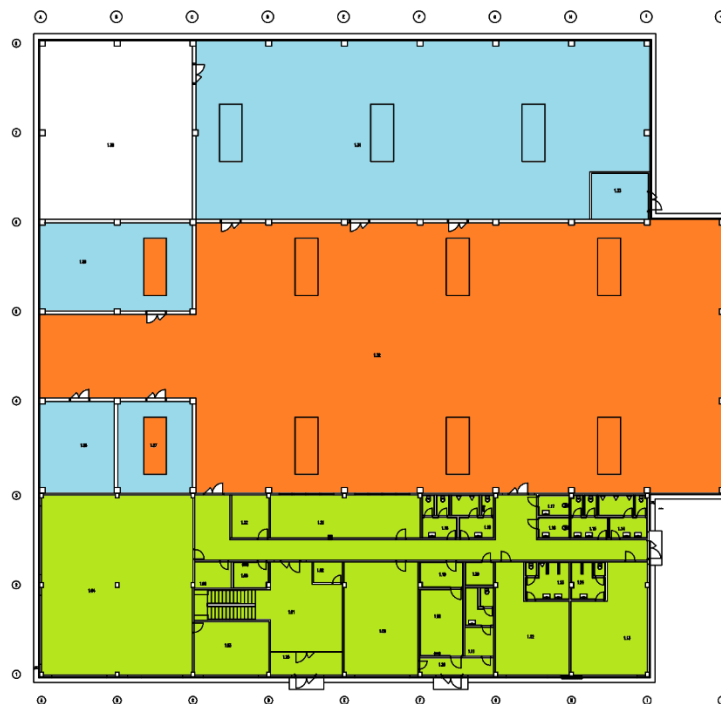
Výsledkom práce je optimalizovanie súčasného stavu vetrania a návrh alternatívneho vetrania.

2.2. Popis objektu

Výrobná hala je situovaná v stredovej časti celého objektu. Z južnej strany (zelená farba) je umiestnené administratívne zázemie, na severnej strane je skladovacie centrum (svetlo modrá farba). Vo vnútri výrobnej haly sú nainštalované štyri výrobné stroje s väčšou produkciou tepla, ktoré slúžia na výrobu a montáž prevodoviek. Súčasťou haly sú aj dva vstavky, ktoré sú situované na západnej strane haly. Tento priestor je využívaný na servis strojov a skladovanie materiálu.



Obrázok 32 3D Model haly



Obrázok 33 Pôdorysné schéma objektu

Zóna I

- Zariadenie č.1 - Ústredný vzduchový systém klimatizácia – Výrobná hala

Zóna II

- Teplovzdušné vetranie – Skladovacie priestory

Zóna III

- Teplovzdušné vetranie
- Lokálna klimatizácia
- Odsávanie z hygienických miestností

2.3. Okrajové podmienky

Klimatické podmienky miesta objektu:

Leto:

Varianta 1 – Nútený systém VZT

- teplota vzduchu v exteriéri $t_e = +29^\circ\text{C}$
- Vnútoraná návrhová teplota v interiéri $t_i = +27^\circ\text{C}$

Varianta 2 – Prirodzené vetranie

- teplota vzduchu v exteriéri $t_e = +23^\circ\text{C}$

Požiadavky na vnútorné prostredie:

Miestnosť	Trieda práce	Teplota		Relatívna vlhkosť
		Ti min	Ti max	
Výrobná hala	IIb	14°C	32°C	30 – 70 %

Rýchlosť prúdenia vzduchu v pobytovej zóne 0,05 - 0,25 m/s.

Vnútorné zdroje od technológií: 185 600 W

Tepelné technické parametre použitých konštrukcií a materiálov:

Typ konštrukcie	λ [W/mK]	d [m]	U [W/m²K]
Vonkajšia stena	0,021	0,1	0,21
Vnútorná stena	0,137	0,15	0,91
Strešná konštrukcia	0,021	0,1	0,21
Podlaha	0,13	0,22	0,59
Svetlík	-	-	1,1
Okno	-	-	1,1

Prietok vzduchu

Varianta 1 - Prietok vzduchu núteného vetrania:

Miestnosť	Druh distribúcie	Prietok [m³/h]
Prevodovkáreň	Prívod	96 960
	Odvod	96 960

Varianta 2 - Prietok vzduchu aeráciou:

Miestnosť	Druh distribúcie	Prietok [m³/h]
Prevodovkáreň	Prívod	101 500
	Odvod	100 000

Výpočet tepelné bilance výrobní haly

Místnost číslo 1.24 – Výrobní hala

VÝPOČET TEPELNÉ ZÁTĚŽE ZA NESTACIONÁRNÍCH PODMÍNEK

***** INFORMACE O PROJEKTU *****

***** ZADANÉ PRVKY DO VÝPOČTU *****

Venkovní stěna
+-----Sedičový panel S (263m², 0.1m, 0.021W/mK, 40kg/m³, 500kJ/kgK)
Venkovní stěna
+-----Sedičový panel J (263m², 0.1m, 0.021W/mK, 40kg/m³, 500kJ/kgK)
Venkovní stěna
+-----Sedičový panel V (226m², 0.1m, 0.021W/mK, 40kg/m³, 1020kJ/kgK)
Venkovní stěna
+-----Sedičový panel Z (73m², 0.1m, 0.021W/mK, 40kg/m³, 1020kJ/kgK)
Venkovní stěna
+-----Střecha Hala (1210m², 0.1m, 0.021W/mK, 40kg/m³, 1020kJ/kgK)
+-----Svetlík (10m², 1.1W/m²K)
+-----Svetlík (10m², 1.1W/m²K)
+-----Svetlík (10m², 1.1W/m²K)
+-----Svetlík (10m², 1.1W/m²K)
+-----Svetlík (10m², 1.1W/m²K)
+-----Svetlík (10m², 1.1W/m²K)
Symetrická stěna
+-----Ytong S (657m², 0.15m, 0.137W/mK, 500kg/m³, 1000kJ/kgK)
Asymetrická stěna
+-----Ytong A (175m², 0.15m, 0.137W/mK, 500kg/m³, 1100kJ/kgK)
Podlaha
+-----Podlaha na zemi (1210m², 0.22m, 0.13W/mK, 1900kg/m³, 800kJ/kgK)

***** VSTUPNÍ ÚDAJE *****

Výpočet proveden pro období od 21.7. do 21.7.

Časový krok: 300s

Objem místnosti : 14200m³

Ve výpočtu bylo zavedeno:

Simulace oblačnosti: NE

Referenční rok: ANO

Uvažován vliv sluneční radiace: ANO

Načtená klimatická data: NE

Osvětlení: NE

Větrání[1]: 0 - 24h, 150m³/h

Ostatní tepelné zdroje[1]: 0 - 24h, 185600W

Odpár vody: NE

Biologická produkce[1]: 0 - 24h, 75kg, počet osob: 15

Sálavé plochy: NE

***** VÝSLEDKY *****

Maxima tepelné zátěže:

21.7. 14h: Citelné teplo Max= 228485.44W

21.7. 4.25h: Citelné teplo Min= 200723.84W

21.7. 14h: Vázané teplo=229.07W Merna Tz = 0W/K

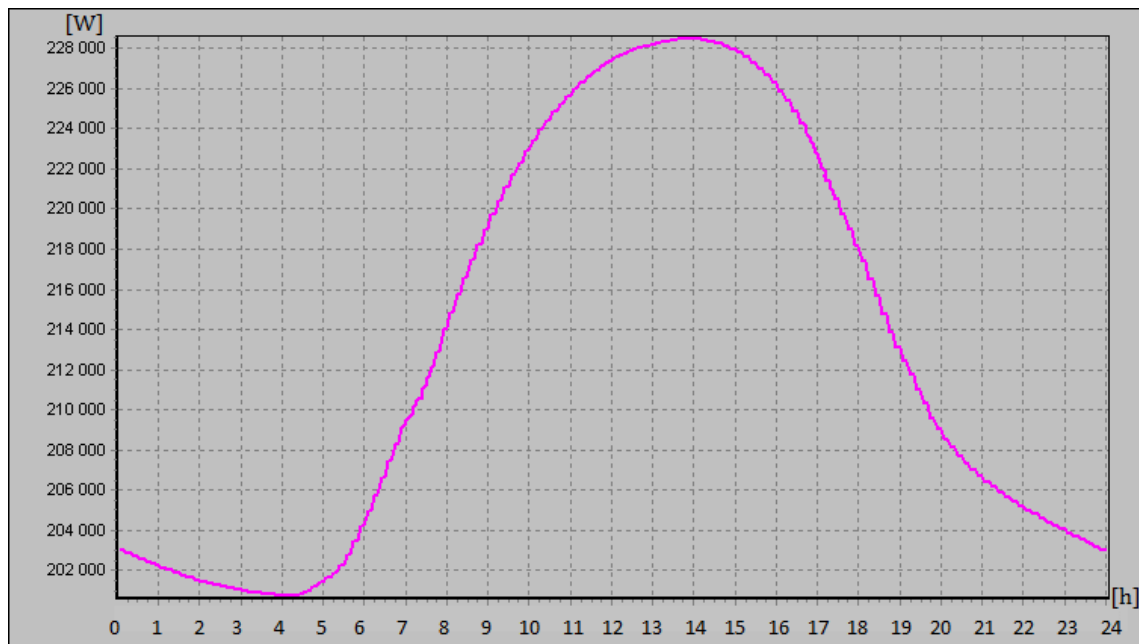
21.7. 14h: Potřeba chladu = 5119.35kWh Potřeba tepla = 0kWh

Suma potřeby chladu = 5119.35kWh

Suma potřeby tepla = 0kWh

Výpočtový program TERUNA.

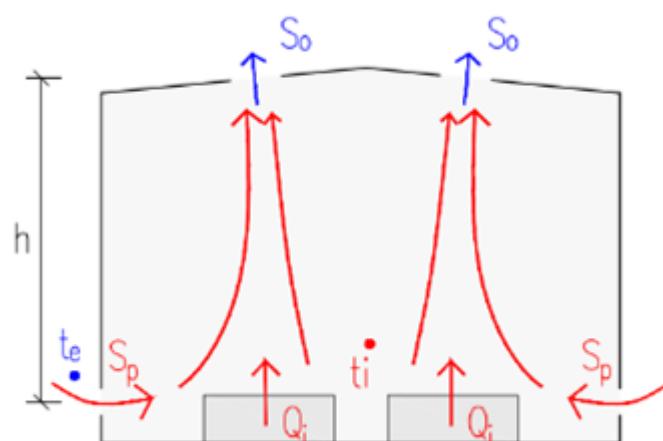
Priebeh tepelnej záťaže výrobnjej haly za 24 hodín. Pracovná doba je 24 hodín.
Najväčší vplyv na telenú záťaž miestnosti majú prevádzkové stroje.



Obrázok 34 Priebeh tepelnej záťaže

Návrh prietoku vzduchu aeráciou

Aerácia je spôsob výmeny vzduchu medzi otvormi umiestených nad sebou vo vzdialenosti h . Prívodné otvory sú umiestnené na obvodových stenách v dolnej časti výrobnjej haly a odvodné otvory (svetlíky) sú rozmiestnené na streche výrobnjej haly.



Obrázok 35 Aerácia

Intenzitu vetrania je možné regulovať otvormi. Pomocou aerácie je možné vetrať iba prevádzky v ktorých je hlavnou škodlivinou nadmerné teplo. Bilančná rovnica ktorá využíva zákon zachovania energie je uvedená nižšie:

$$S_p \cdot \mu_p \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_e \cdot \Delta p_p} = S_o \cdot \mu_o \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_i \cdot \Delta p_o}$$

- kde S_p, S_o – prierezy prírodného a odvodného otvoru
- μ_p, μ_o – výtokový súčiniteľ pre privádzaný a odvádzaný otvor, bežne
 $\mu_p = \mu_o = 0,6 - 0,7$
- ρ_e, ρ_i – hustoty vonkajšieho a vnútorného vzduchu
- $\Delta p_p, \Delta p_o$ – tlakové rozdiely v otvoroch

2.3.1. Výpočet prietoku vzduchu aeráciou

Pre výpočet prietoku boli zvolené okrajové podmienky:

- teplota exteriéru 23°C,
- rýchlosť vetra 2 m/s.
- prevýšenie 10 m

V tabuľke nižšie sú uvedené rozmery a umiestnenie otvorov vo výrobnjej hale. Plocha otvoru udáva plochu obrysovú plochu otvoru. Efektívna plocha otvoru je zredukovaná plocha o časť, ktorú zaberajú napr. žalúzie. U dverí je to 90% a u vetracích otvorov je to 80% plochy otvoru.

	Rozmer otvoru	Plocha otvoru	Efektívna plocha otvoru	Nové otvory na východnej fasáde	Nové otvory na severnej fasáde
Prírodné otvory	1,4 x 1,5 m	2,1 m ²	1,8 m ²	4	2
	4,2 x 4 m	16,8 m ²	15,1 m ²	1	0
			Σ 25,9 m²		

	Rozmer otvoru	Plocha otvoru	Efektívna plocha otvoru	Nové otvory na streche (svetlíky)
Odvodné otvory	1,1 x 1,1 m	1,21 m ²	1 m ²	18
			Σ 18 m²	

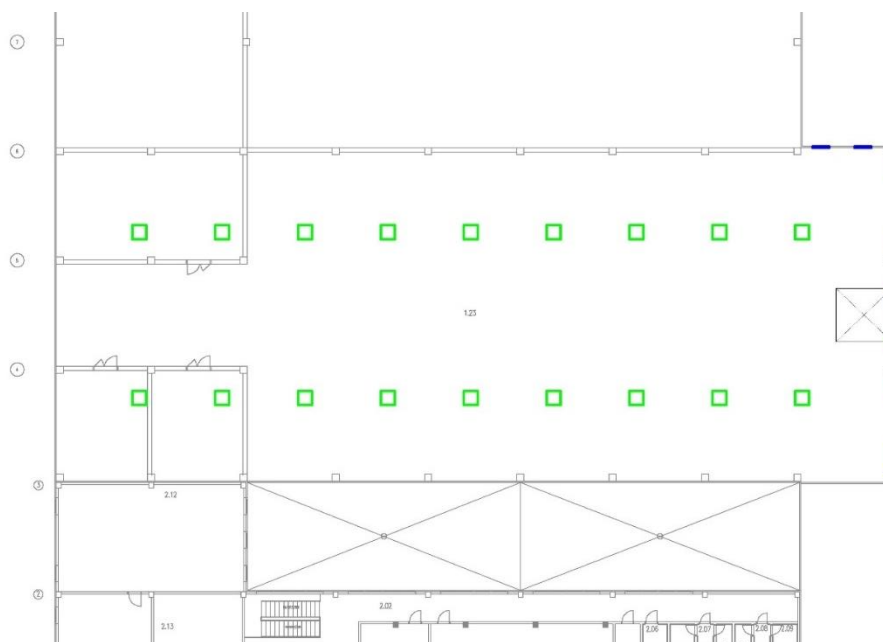
Prietok vzduchu aeráciou pre výpočtovú teplotu $t_e = +23 [^{\circ}\text{C}]$, prevýšenie $h = 10 [\text{m}]$

	Prietok prívodného vzduchu [m ³ /h]	Prietok odvodného vzduchu [m ³ /h]	Plocha prívodných otvorov [m ²]	Plocha odvodných otvorov [m ²]	Rýchlosť vetra [m/s]
Prevýšenie h = 10 [m]	101 500	100 000	25,9	18	2

2.3.2. Rozmiestnenie aeračných otvorov

Dispozičné riešenie výrobnjej haly dovoľuje umiestnenie prívodných otvorov z východnej strany a tiež z časti na severnú stranu. Na východnú stranu boli navrhnuté štyri otvory 1,4x1,5 m a príjazdové dvere 4,2x4 m. Zvyšné dva otvory 1,4x1,5 m boli umiestnené na roh severnej strany. Výška spodnej hrany otvorov 0,5 m.

Otvory nebolo možné umiernať na celú južnú stranu pretože sa tu nachádza administratívna časť a taktiež skoro po celej dĺžke je situovaná skladovacia časť.



Obrázok 36 Pôdorys rozmiestnenia otvorov

Legenda:

Modrá farba – okno 1,4 x 1,5 m – 6 ks

Fialová farba – dvere 4,2 x 4 m – 1 ks

Zelená farba – strešný svetlík 1,1 x 1,1 m – 18 ks

2.4. Tvorba modelu

Proces tvorby matematicko-fyzikálneho modelu je zložený z troch krokov:

- pre-processing,
- processing,
- post-processing.

2.4.1. Pre-processing – modelovanie priestoru

3D geometrický model bol vytvorený v programe Autocad na základe 2D podkladov z bakalárskej práce. Pri vytváraní modelu som postupoval nasledovnými krokmi. Ako prvé bol vytvorený priestor výrobnéj haly (obvodové steny, podlahu, a strešnú kce.). Na strešnú konštrukciu boli doplnené svetlíky a na steny haly vetracie otvory do exteriéru. Zložité tvary výrobnéj technológie boli vymodelované zjednodušeným tvarom, čo napomáha rýchlejšej tvorbe výpočtovej siete. Taktiež bol do modelu zahrnutý priestor dvoch vstakov a pre menší počet buniek výpočtovej siete boli vymodelované len koncové elementy vzduchotechnického potrubia.

V tak veľkom objekte ako je výrobná hala, tieto vybrané zjednodušenia geometrického modelu nemajú na celkový výsledok simulácie zanedbateľný význam. Kompletný Geometrický 3D model bol importovaný do simulačného programu STAR CCM+.

2.4.2. Pre-processing - Výpočtová sieť a okrajové podmienky

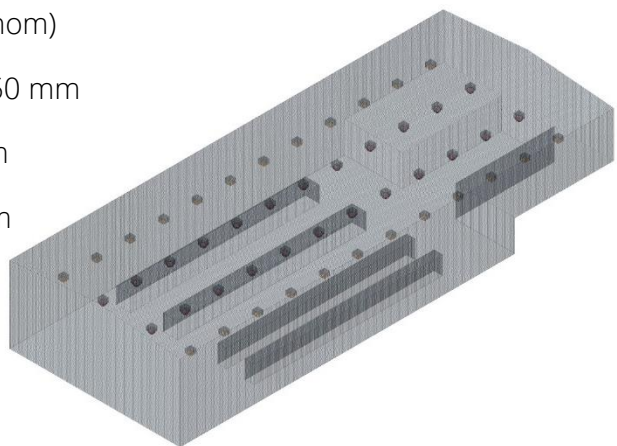
Po importovaní modelu do simulačného programu je potrebné rozdeliť model na jednotlivé časti tak, aby bolo možné jednotlivým častiam priradiť ich fyzikálne vlastnosti. Následne geometrický model bol pokrytý povrchovou a objemovou výpočtovou sieťou. Pre modelovaný objekt boli vytvorené dostatočne jemné 2D a 3D bunky. Druh a kvalita výpočtovej siete majú vplyv na čas výpočtu a kvalitu výsledku. V programe STAR CCM+ je možné vytvoriť rôzne typy výpočtových sietí. V simulácii sme špecifikovali výpočtovú sieť s vlastnosťami:

Trimmer (sieť vytvorená štvorstenom)

Veľkosť povrchovej bunky 80 – 150 mm

Veľkosť objemovej bunky 100 mm

Maximálna veľkosť bunky 150 mm



Obrázok 37 3D model výpočtovej siete

Na takto jemnej geometrii bola vytvorená objemová sieť s celkovým počtom buniek približne 4 330 000.

Po úspešnom vytvorení výpočtovej siete je potrebné nastaviť fyzikálne modely. Aby sme dosiahli reálne výsledky je potrebné zvoliť vhodné fyzikálne modely. Pre tento prípad boli nastavené tieto fyzikálne modely:

- Two-Layer All y+ Wall Treatment
- Turbulent
- Three dimensional
- Steady
- Segregated flow
- Segregated fluid temperature
- Reynolds-Avaraged Navier-Stokes
- Realizable K-Epsilon Two.Layer
- K-epsion turbulence
- Ideal gas
- Gravity
- Gradients
- Gas
- Exact wall distance
- Cell quality remedation

Okrajové podmienky:

V modeloch je nevyhnutné nastaviť okrajové podmienky a do výpočtu boli prevzaté z pomocných výpočtov. V prvej variante simulácia rieši optimalizáciu ústredného vzduchového systému klimatizácie pre návrhový stav v lete. Druhá simulácia rieši návrh prirodzeného vetrania v letnom období.

- Nútený systém VZT je nastavený ako rovnotlaké vetranie
- Na prírodné výustky boli nastavené rýchlostné podmienky (Velocity inlet)
- Na odvodné výustky boli nastavené tlakové podmienky (Pressure outlet)
- Na fasádne otvory boli zadané rýchlostné podmienky (Velocity inlet)
- Na strešné svetlíky boli zadané tlakové podmienky (Pressure outlet)
- Obálka budovy bola nastavená ako stena (Wall)
- Okrajová podmienka pre technológiu bola nastavená ako stena (Wall)

Nastavenie zobrazenia výsledkov:

Vo výrobnej hale bolo potrebné zvoliť pozdĺžne a priečne rezné roviny v ktorých je možné zobraziť výsledky sledovaných veličín. Taktiež bol vytvorený vodorovný rez v pobytovej zóne 1,5 m od čistej podlahy. K sledovaným rezom boli priradené skalárne a vektorové polia výsledného prúdenia vzduchu a teploty.

2.4.3. Processsing - Riešič

V CFD simuláciách boli v programe STAR CCM+ modelované celkom 2 počítačové simulácie.

- Varianta 1 – Optimalizácia súčasného stavu výrobnej haly – nútený systém VZT
- Varianta 2 - Návrh alternatívneho vetrania – prirodzené vetranie

Priebeh simulácie je možné sledovať na grafe reziduál, v ktorom na vodorovnej osi sú hodnoty počtu iterácií a na zvislej osi rozdiel reziduál. Stabilné riešenie je dosiahnuté vtedy keď hodnoty reziduál klesnú a ustália sa na danej hodnote. Aby bolo výsledky možné považovať za validné je potrebné aby riešenie konvergovalo.

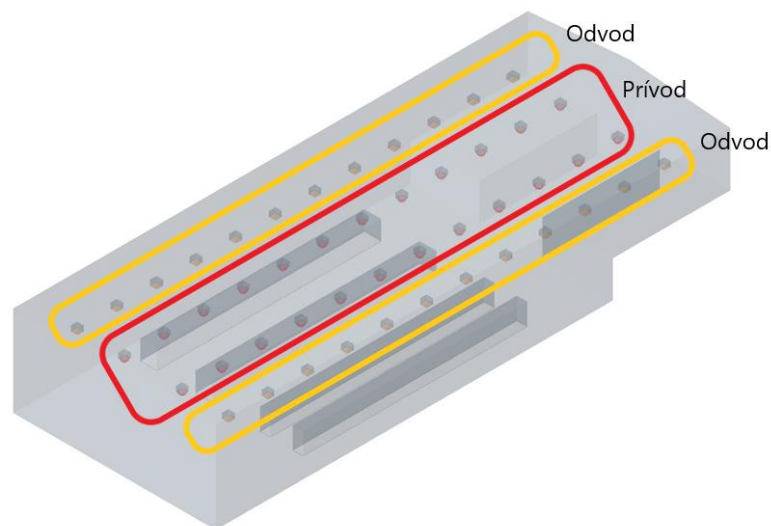
2.4.4. Post-processing – Vizualizácia a spracovanie výsledkov

Roviny rezu slúžia na vizualizáciu a prezentovanie výsledkov. Z počítačovej vizualizácie vidíme rezy priečne, pozdĺžne a horizontálne a hodnotíme správanie prúdenia vzduchu a rozloženie teploty vzduchu v pozorovanom objekte.

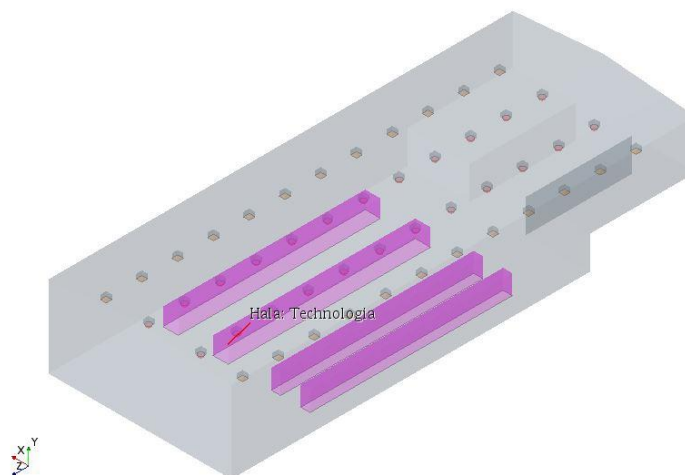
2.5. Varianta 1 – Simulácia optimalizácie súčasného návrhu

V pôvodnom návrhu pre výrobnú halu uvažujeme s ústredným vzduchovým systémom klimatizácie. Vzduchotechnická jednotka je umiestnená vo vedľajšej časti objektu. Do výrobnjej haly boli navrhnuté kužeľové difúzory z programu Halton HIT Desing,, ktoré umožňujú zmenu smeru prúdenia vzduchu. Koncové prvky sú navrhnuté vo výške 7,0 m od čistej podlahy.

Množstvo prívodného vzduchu v lete:	96 960 [m ³ /h]
Teplota prívodného vzduchu v lete:	+20 [°C]
Povrchová teplota výrobných strojov	+45 [°C]



Obrázok 38 Rozmiestnenie prívodných a odvodných koncových prvkov



Obrázok 39 Zjednodušený tvar technológie

2.5.1. Modelovanie koncových prvkov

V modelovom priestore sú kuželové difúzory vymodelované v tvare pologuľ z ktorých prúdi čerstvý vzduch. Keďže zložitý tvar výstupu vzduchu cez kuželový tvar je veľmi komplikované vymodelovať, bolo nutné tvar zjednodušiť. Z rôzne modelovaných tvarov koncových elementov sa javí najoptimálnejšie tvar pologule. Pologuľu som zvolil z toho dôvodu, pretože sa najviac približovala ku kuželovitému tvaru prúdu vzduchu – vid' *obr. 40 Prúdenia vzduchu z programu Halton*. Kvôli povrchovému tvaru výustky bolo potrebné prepočítať výstupnú rýchlosť.

Prepočet rýchlosti výstupnej rýchlosti:

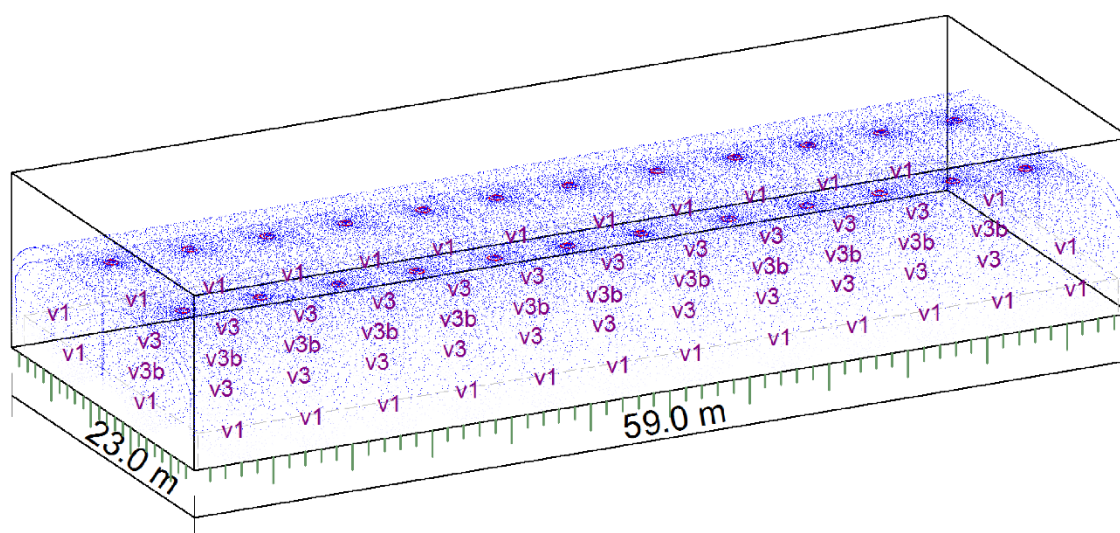
Počet výustiek:	$n=24$ ks
Efektívna plocha hranatej výusky:	$A_{ef} = 0,56 \text{ m}^2$
Prietok jedenej výstky:	$V = 4040 \text{ m}^3/\text{h}$
Rýchlosť na ploche jednej hranatej výustky:	$w = 2,0 \text{ m/s}$

Prietok polkruhovou výustkou:

Počet výustiek:	$n = 24$ ks
Efektívna plocha polkruhovej výustky	$A_{ef} = 1,77 \text{ m}^2$
Prietok jednej výustky:	$V = 4040 \text{ m}^3/\text{h}$
Rýchlosť na ploche polkruhovej výustky	$w = 0,64 \text{ m/s}$

Obrázok prúdenia vzduchu z návrhového programu Halton:

TRB-500(R)				
Chlazení		2007.02		
Místnost:		Průtok přívodního vzduchu 26940 l/s (24 x 1123 l/s) 19.9 l/(sm ²)		
Velikost místnosti: 59.0 x 23.0 x 10.5 m				
Zóna pobytu: h=2.0 m / dw=0.5 m		Teplota přívodního vzduchu: 20.0 °C		
Vzduch v místnosti: 27.0 °C / 60 %		Tlaková ztráta: 83 Pa		
Tepelný zisk: -		Celk. hladina akust. tlaku: 46 dB(A)		
Instalační výška: 7.00 m		Celkový chladicí výkon: 221105 W (24 x 9213 W) 163 W/m ²		
		L _d : -		
Bod stanovení rychlosti	v1	v3	v3 _p	
v	~0.20 m/s	~0.20 m/s	~0.20 m/s	
▲T	-0.1 °C	-0.2 °C	-0.1 °C	
vlim = 0.15 m/s				



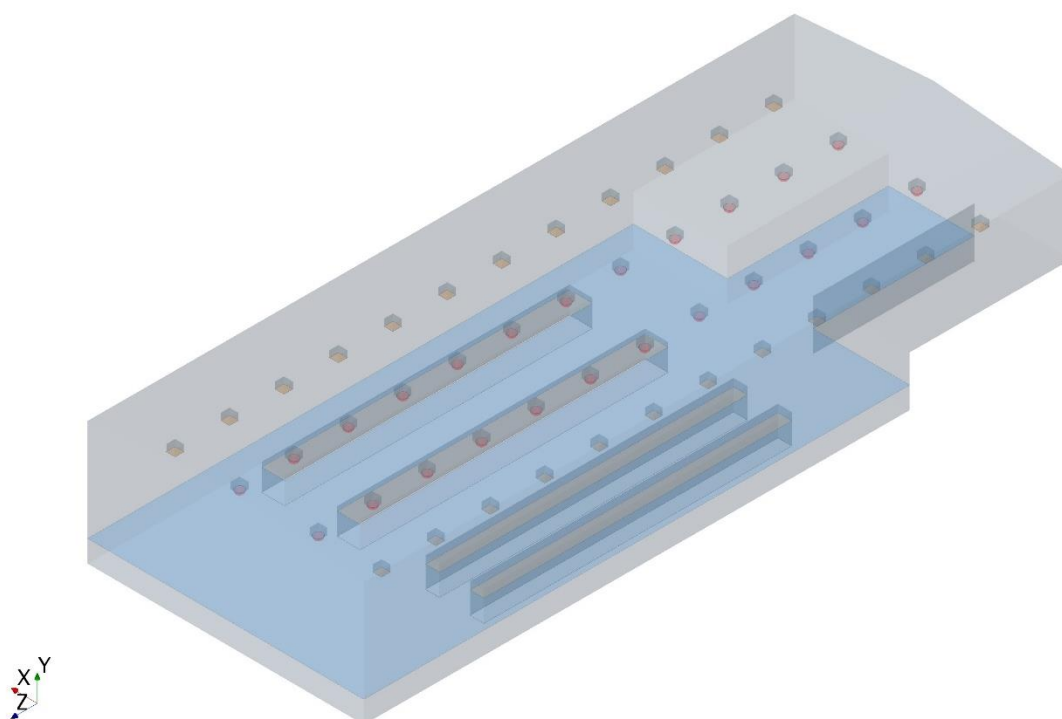
Obrázok 40 Prúdenie vzduchu z HALTON HIT

2.5.2. Vizualizácia výsledkov

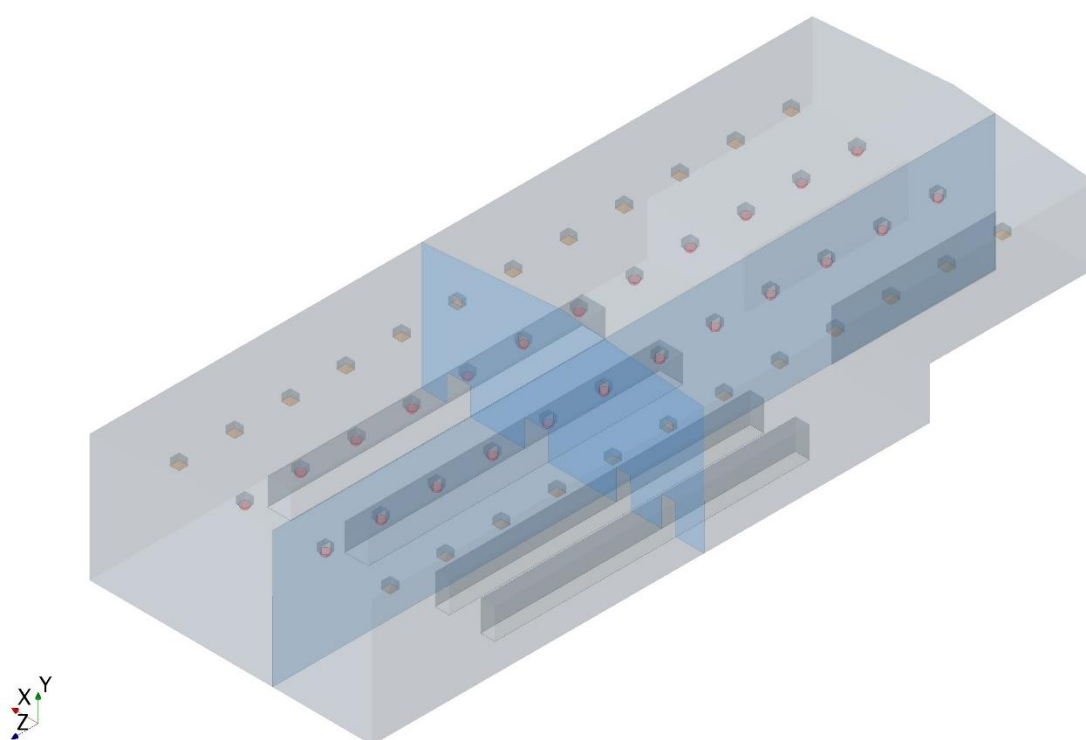
Rezy sú zvolené tak, aby čo najviac charakterizovali výsledné sledované veličiny. Rezy pre vizualizáciu sú zvolené nasledovne:

- Horizontálny rez v pobytovej výške 1,5 m
- Priečny rez A
- Pozdĺžny rez B

Priečny rez je vedený osou prívodných a odvodných koncových elementov. Rovina pozdĺžneho rezu je vedená priamo cez prívodné výustky.



Obrázok 41 Vodorovný rez vo výške 1,5 m



Obrázok 42 „Priečny rez A“ a „Pozdĺžny rez B“

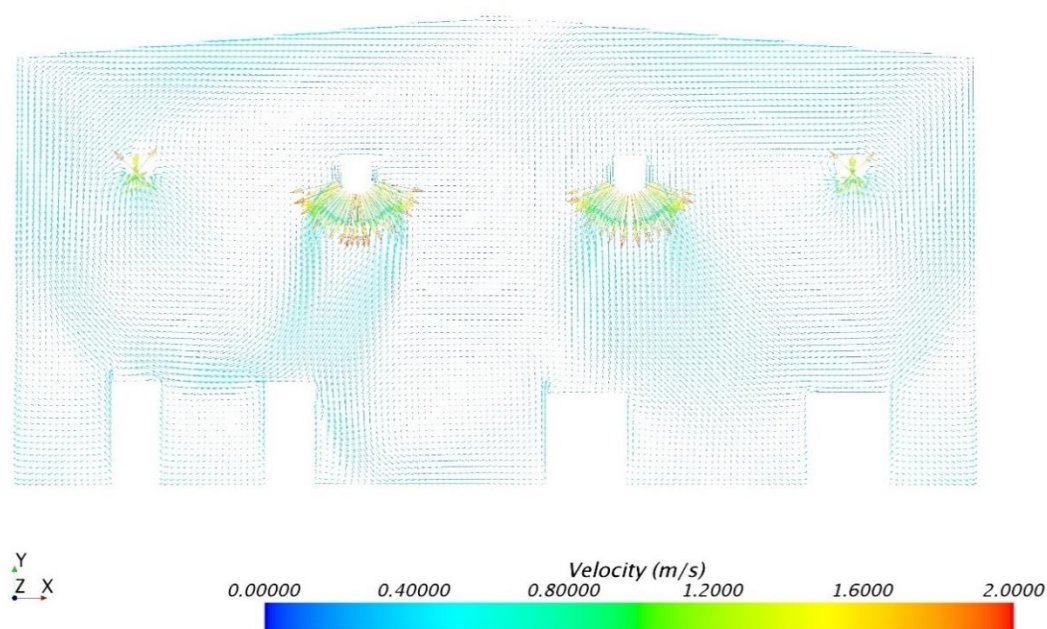
2.5.3. Výstupy zo simulačného programu

Na výsledných obrázkoch môžeme vidieť, že rýchlostné pole je ovplyvnené polohou technológie vo výrobnej hale ale aj dvomi vstavkami umiestnených v hale. V miestach s výrobnou technológiou a vstavkami chladný prúd vzduchu narazí na steny technológie a to má za následok nárast rýchlosti v okolí stien.

Priemerná rýchlosť prúdenia vzduchu v horizontálnom reze (výška 1,5 m) je 0,21 m/s.

Maximálna dosiahnutá rýchlosť v celom objekte je v mieste odvodných výustiek 4,08 m/s

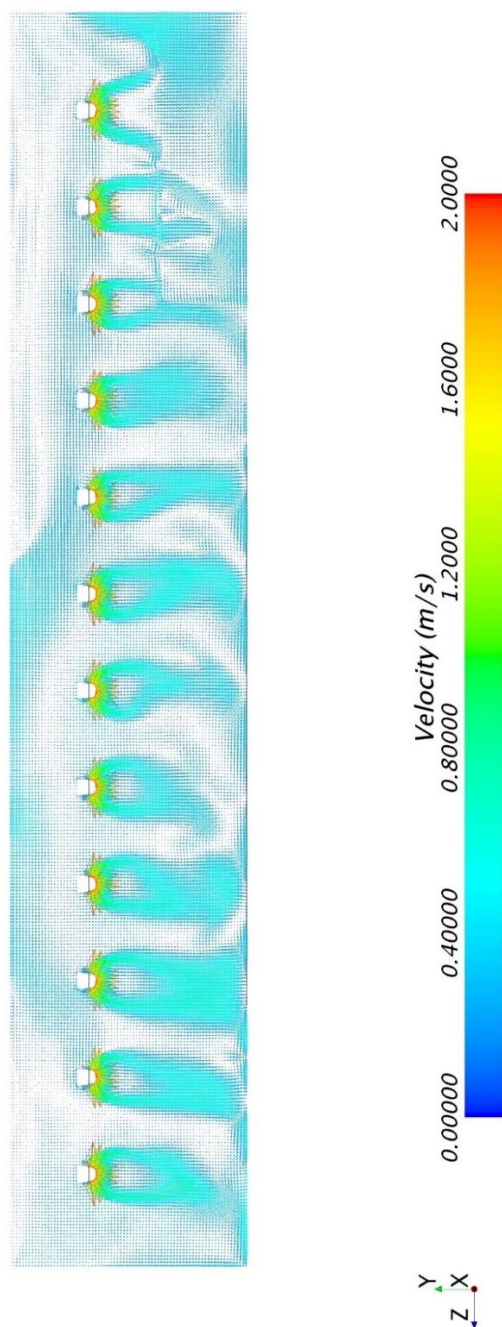
Rýchlostné pole



Obrázok 43 Rýchlostné pole v zvislom priečnom reze A

V programe Halton Hit bola v súčasnej variante navrhnutá výška prívodných elementov 7 m od čistej podlahy. Priemerná rýchlosť prívodného vzduchu 0,2 m/s v pobytovej zóne vyhovovala požiadavku na rýchlosť prúdenia vzduchu v pobytovej zóne. Po nasimulovaní súčasného stavu v programe STAR CCM+ bola priemerná rýchlosť omnoho vyššia než rýchlosť 0,25 m/s. Táto zvýšená rýchlosť v pobytovej zóne je spôsobená rozmernou výrobnou technológiou, ktorá je inštalovaná v hale, Halton totiž uvažuje výrobnú halu ako voľný priestor, bez zariadení. Na splnenie požiadavky na priemernú rýchlosť prúdenia vzduchu v pobytovej zóne bolo nutné umiestniť výustky do výšky 8 m nad podlahu. Touto úpravou výšky o 1 m sa dosiahlo, že priemerná rýchlosť v pobytovej zóne sa ustálila na hodnote 0,21 m/s. I keď vznikajú lokálne miesta v ktorých je vyššia rýchlosť než je požadovaná, sú všetky miesta v hale

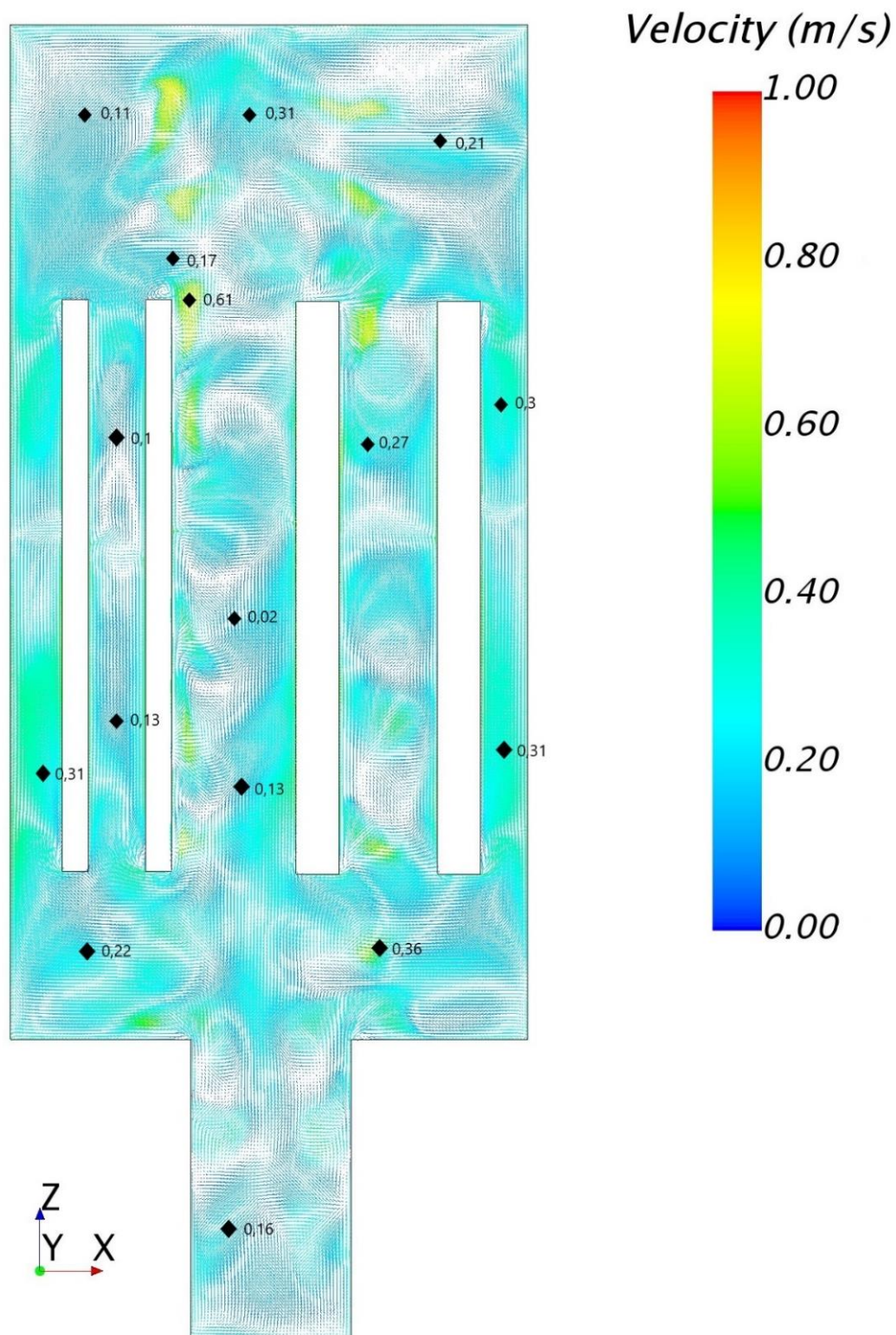
dostatočne prevetrané. Z výsledných rýchlostných polí je vidieť, že čerstvý prírodný vzduch obmýva výrobnú technológiu a na hranách s konštrukciami vznikajú rýchle prúdy vzduchu.



Obrázok 44 Rýchlostné pole v zvislom pozdĺžnom reze B

Okrem priemernej rýchlosti prúdenia v pobytovej zóne bola sledovaná aj rýchlosť prúdenia vzduchu v šestnástich bodoch. Body boli vybrané na základe predpokladaného výskytu pohybu pracovníkov v hale. Rýchlosť v jednotlivých bodoch je možné vidieť na obrázku nižšie (obr.44). Rýchlosť vzduchu v bodoch sa pohybovala v rozmedzí od 0,10 do 0,61 m/s. Z pôdorysu vidíme vznikajúce lokálne miesta, v ktorých

vzduchové víry, dosahujú rýchlosť okolo 0,6 m/s. Zaujímavosťou sú práve lokálne miesta vo voľnom priestore v ktorých sa vyskytuje vyššia rýchlosť. Tieto miesta vznikajú priamo pod prírodným prvkom a keďže je náročné namodelovať presný tvar prúdenia vzduchu z kužeľového difúzora vznikajú na voľnej ploche miesta v ktorých je rýchlosť vyššia.



Obrázok 45 Horizontálny rez v pobytovej zóne vo výške 1,5 m

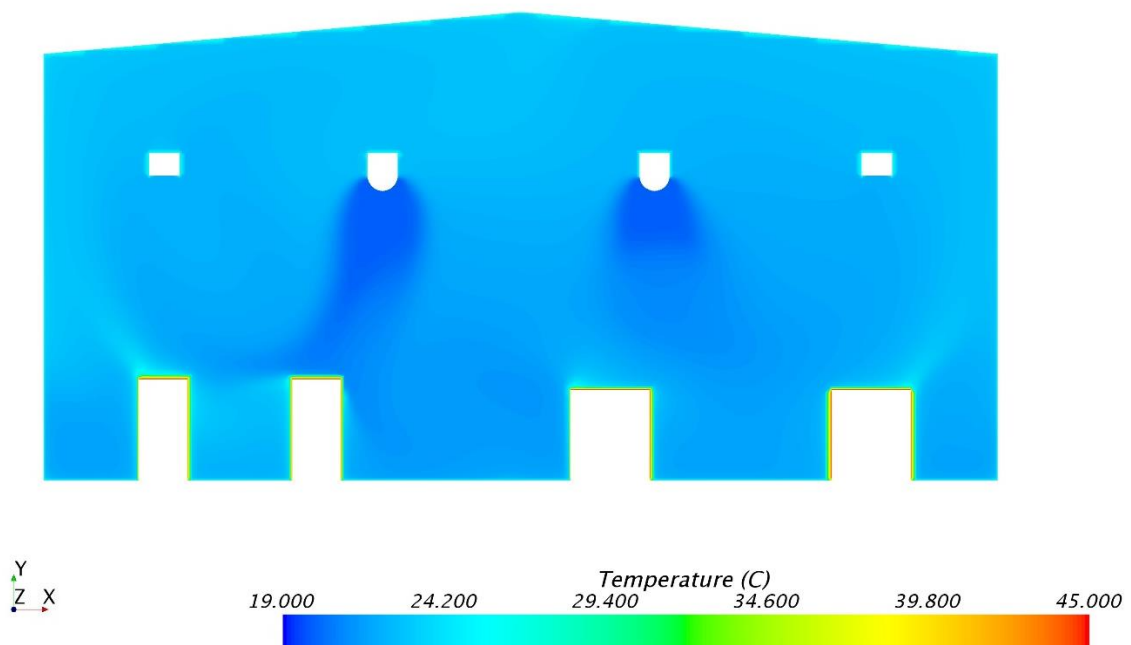
Teplotné pole

Na obrázkoch je vidieť, že teplotné pole je minimálne ovplyvnené tepelnými záťažami od technológie v strednej časti haly. Povrchová teplota z technológie ovplyvňuje len malý priestor v okolí zariadenia. Rozloženie teploty po výške aj horizontálne v celku prirodzené, chladný vzduch spodnej časti a ohriaty vzduch pod stropom. V priečnom reze pozorujeme prúdiaci chladný vzduch z výustiek a taktiež, že ohriaty od technológie stúpa hore pod strešnú konštrukciu kde je následne odvádzaný vzduchotechnikou.

Priemerná teplota v celom objekte je 26°C

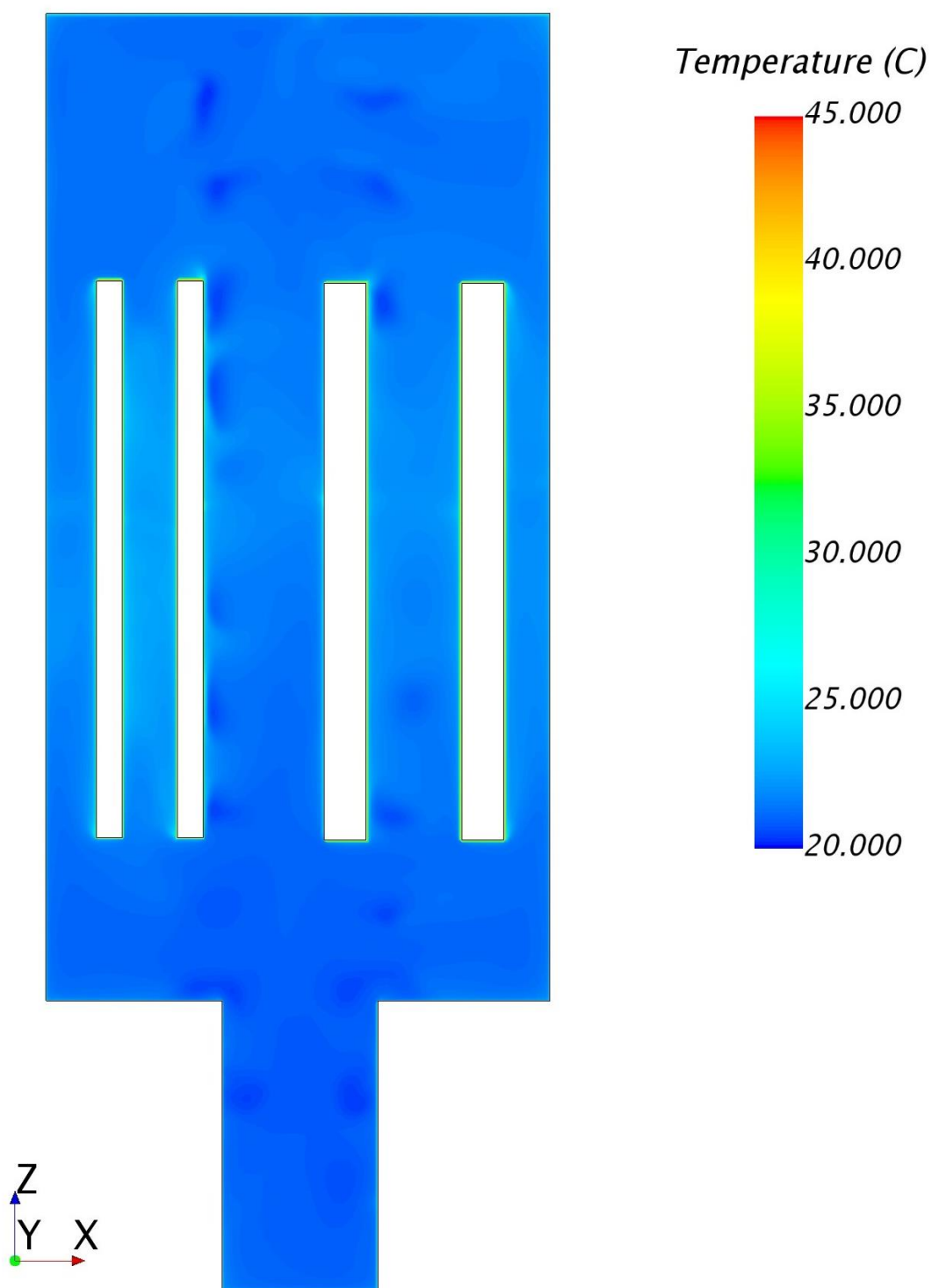
Priemerná teplota v horizontálnom reze (výška 1,5 m) je 21,6 °C

Maximálna teplota v pobytovej zóne je 45 °C v okolí výrobnjej technológie.



Obrázok 46 Teplotné pole v zvislom priečnom reze A

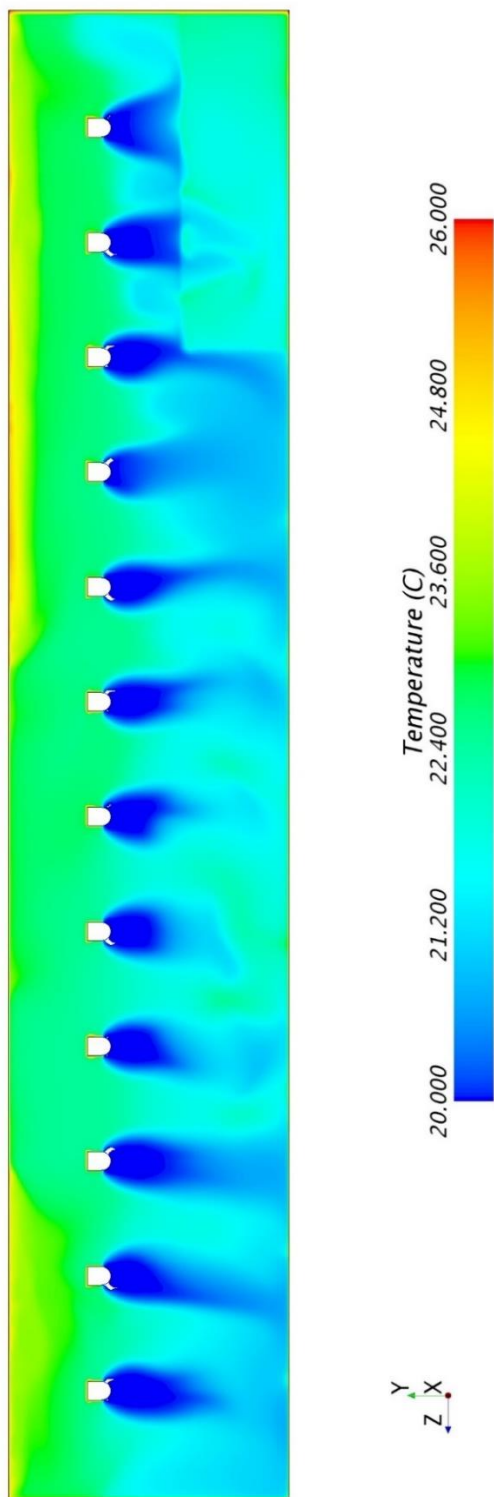
Z vodorovného rezu vid obr. 47 je zrejmé, že teplotné pole v pobytovej zóne je skoro konštantné. Teplotu v strednej časti ovplyvňujú vyžarovaným teplom technológie len čiastočne inak je rozloženie teploty stále. Rovnako ako v reze s rýchlostným polom vidíme lokálne miesta kde je teplota nižšia v porovnaní s teplotou v hale. Tieto miesta sa nachádzajú priamo pod prírodným elementom.



Obrázok 47 Teplotné pole v pobytovej zóne 1,5 m od podlahy

Pozdĺžny rez je vedený priamo cez stred prívodné výustky, z *obrázku č 48* je vidieť rozloženie teploty v pozdĺžnom smere. Vidíme stratifikáciu teploty po výške haly, kedy studený vzduch sa drží v spodnej časti a teplý pod strešnou konštrukciou. Opäť

pozorujeme v strednej časti haly pôsobenie teploty z výrobnjej technológie. V strednej časti je teplota vyššia než v krajnej časti haly.



Obrázok 48 Teplotné pole v zvislom pozdĺžnom reze B

Rozdielne rozloženie teploty medzi priečnym a pozdĺžnym rezom je v tom, že priečny rez (vid' obr. 46) je vedený cez technológiu, kde je teplota 45°C a rozsah stupnice je od

20°C po 45°C. Pozdĺžny rez (*vid' obr. 48*) je vedený mimo výrobnú technológiu, kde sa nám objavuje rozsah teploty od 20°C do 26°C. V prípade ak by sme zobrazili rez mimo prírodné výustky ale cez výrobnú technológiu, rozloženie teploty by vyzeralo podobne ako v priečnom reze na *obrázku 46*.

2.5.4. Vyhodnotenie a optimalizácia súčasného stavu

Pôvodný návrh núteného vetrania s optimalizáciou výšky výustiek bol vyhodnotený za relatívne vyhovujúci. Oproti pôvodnému stavu bola optimalizovaná výška koncových elementov, ktoré boli zdvihnuté o 1 m, teda do výšky 8 m nad podlahu. Návrh je považovaný za vyhovujúci aj z toho dôvodu, že výsledky nielen v celom objekte, ale aj teploty vzduchu a rýchlosti vzduchu v pobytovej zóne sú takmer totožné s návrhovými parametrami. S návrhovými parametrami, ktoré boli zvolené a úpravou výšky prírodných výustiek je simulácia pôvodného stavu vyhovujúca pre daný objekt. Výsledná priemerná teplota v objekte 26 °C sa blíži k návrhovej teplote 27 °C. Rozloženie teploty v pobytovej zóne v hale môžeme takisto zhodnotiť ako rovnomerné a priemerná teplota v pobytovej zóne je 21,6°C. Po optimalizovaní výšky prívodu vzduchu a je priemerná rýchlosť v pobytovej zóne 0,21 m/s a môžeme ju taktiež považovať za vyhovujúcu, avšak okrem lokálnych miest kde rýchlosť prekračuje 0,3 m/s. Tieto miesta sú spôsobené tvarom prírodného vzduchu a taktiež sú to miesta kde predpokladáme nízky výskyt pracovníkov.

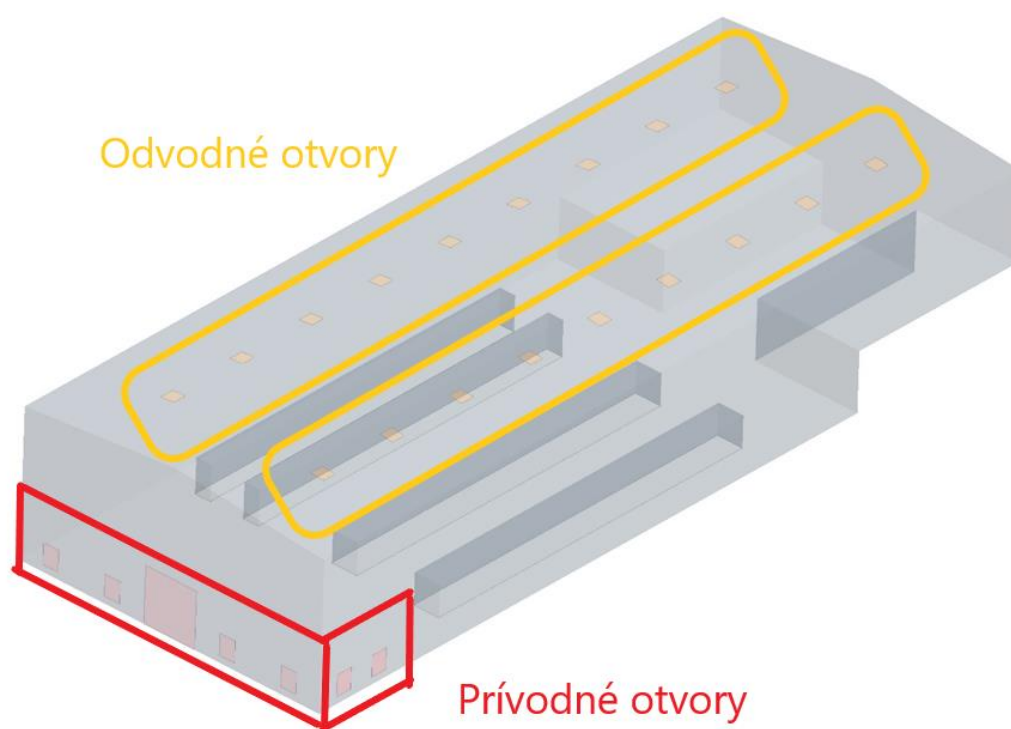
2.6. Varianta 2 - Simulácia prirodzeného vetrania

Ako alternatívnu verziu vetrania výrobnjej haly bolo vybrané prirodzené vetranie aeráciou. Tento typ vetrania bol vybraný z dôvodu relatívne nízkych investičných a prevádzkových nákladov. Ako prírodné otvory slúžia otvory umiestnené na fasáde a pre odvod vzduchu sa využívajú strešné svetlíky. Návrh prietoku a plochy otvorov je popísaný v kapitole vyššie vid' 2.3.1 – Výpočet prietoku vzduchu aeráciou.

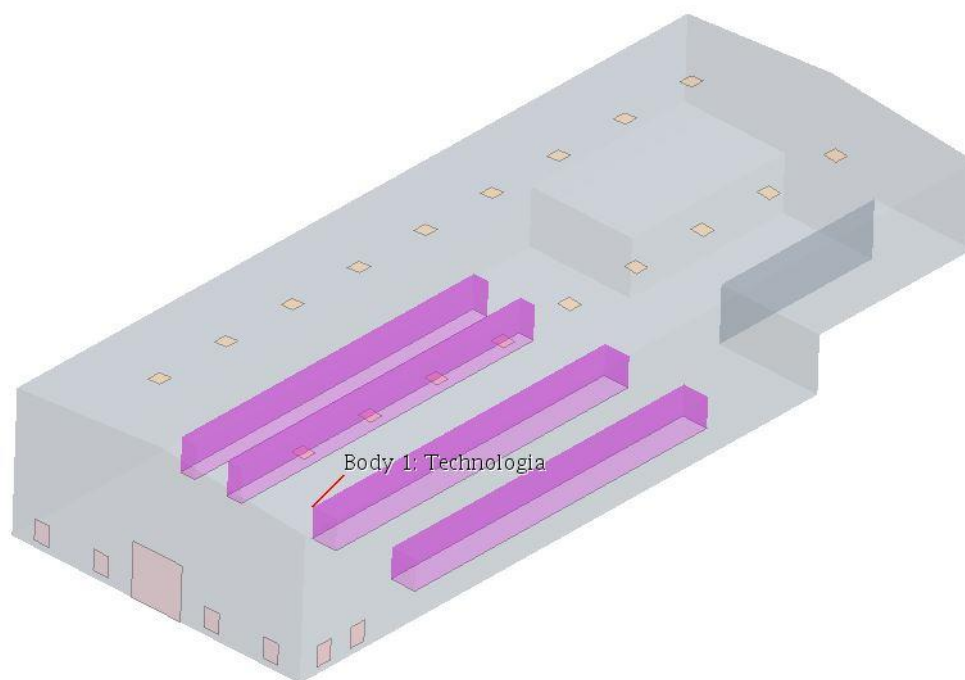
Množstvo prírodného vzduchu: 101 500 [m³/h]

Teplota prírodného vzduchu: +23 [°C]

Povrchová teplota výrobných strojov +45 [°C]



Obrázok 49 3D model prírodných a odvodných otvorov



Obrázok 50 3D model umiestnenia výrobných technológií

V tejto verzii zohráva dôležitú úlohu rozmiestnenie prírodných otvorov. Dispozičné riešenie haly nedovoľuje umiestnenie otvorov v pozdĺžnom smere, pretože z jednej strany je administratívna časť a z druhej skladovacia časť. V zadnej časti sú umiestnené vstavky, takže tak isto nie je priestor na rozmiestnenie dostatočného počtu otvorov. Zostáva iba relatívne krátka východná stena a časť severnej steny. Prírodné okná sú umiestnené na náveternej strane v spodnej časti aby sa dosiahla čo najvyššia efektívna výška.

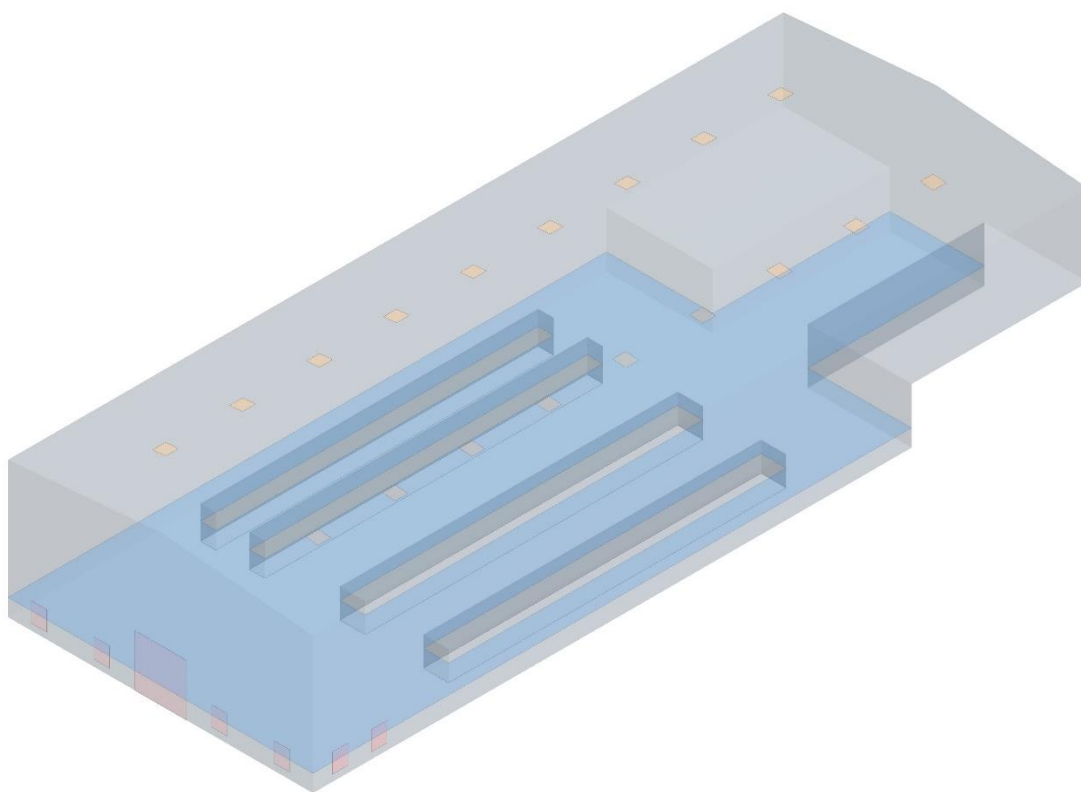
Ako najvhodnejšie rozmiestnenie odvodných otvorov sa javí rovnomerné usporiadanie menších otvorov po celej ploche strešnej konštrukcie. Otvory boli umiestnené v dvoch radoch po 9 ks a ploche $1 \text{ m}^2/\text{ks}$.

2.6.1. Vizualizácia výsledkov

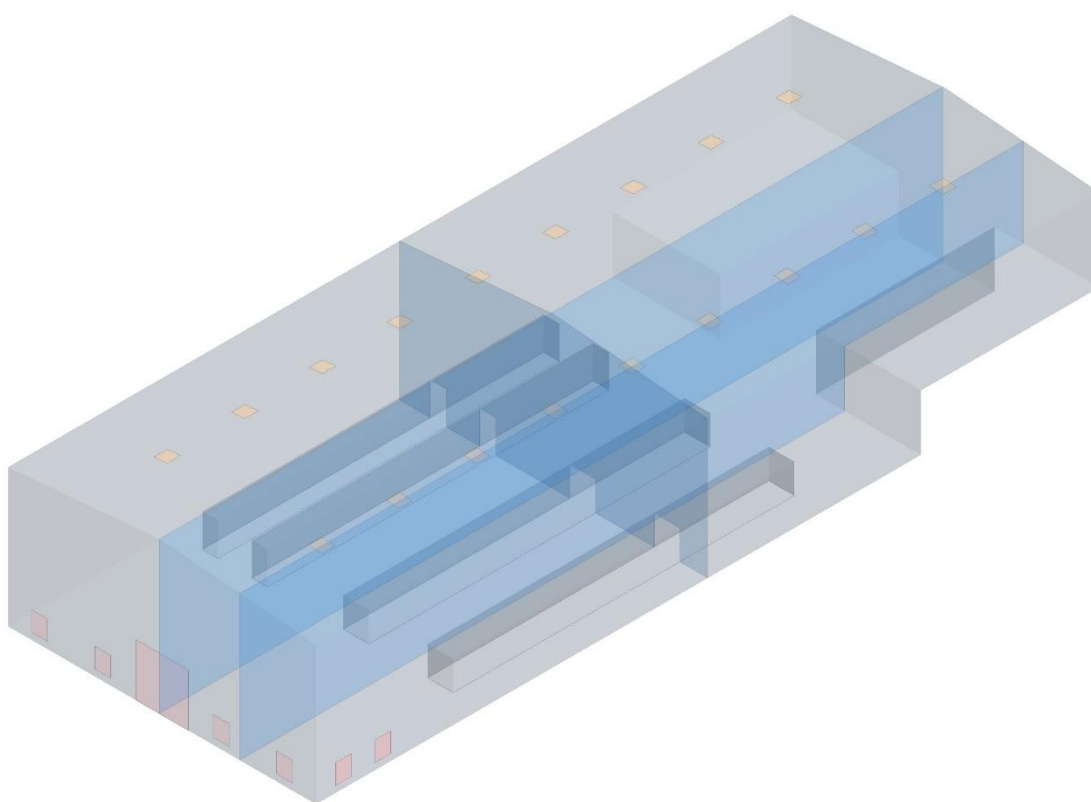
Rezy sú zvolené tak, aby čo najviac charakterizovali výsledné sledované veličiny. Rezy pre vizualizáciu sú zvolené nasledovne:

- Horizontálny rez v pobytovej výške 1,5 m
- Pričný rez A
- Pozdĺžny rez B
- Pozdĺžny rez C

Rovina priečného rezu „A“ bola zvolená v strede haly priamo cez stred odvodných svetlíkov. Pozdĺžny rez „B“ je vedený po dĺžke haly cez odvodné svetlíky. Druhý priečný rez je vedený presne stredom haly.



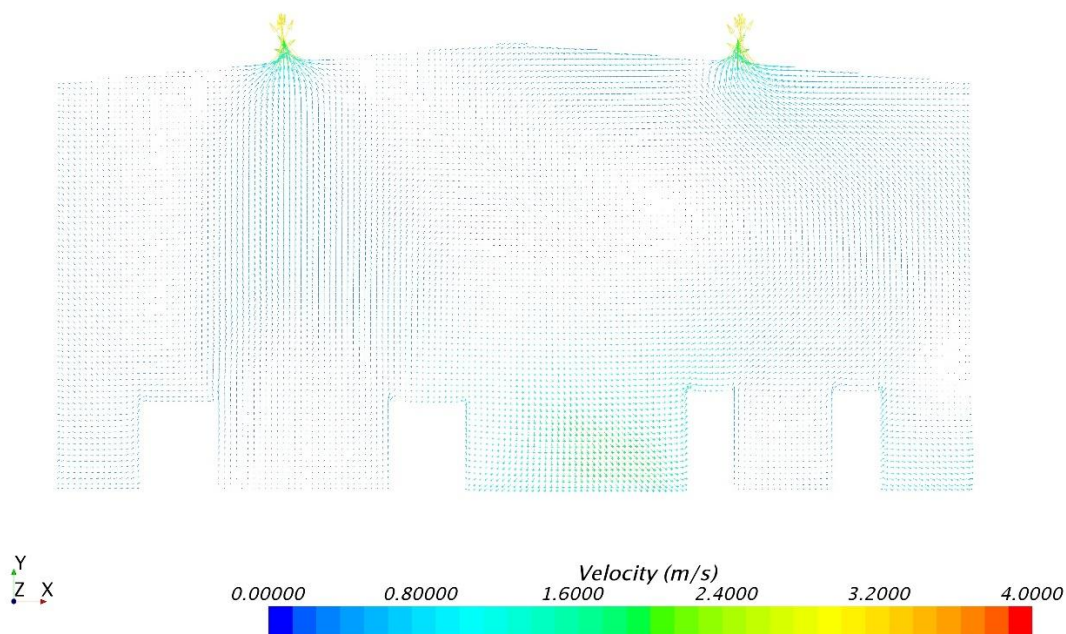
Obrázok 51 Horizontálny rez v pobytovej výške 1,5 m



Obrázok 52 Priečny rez "A", Pozdĺžny rez "B" a "C"

2.6.2. Výstupy zo simulačného programu

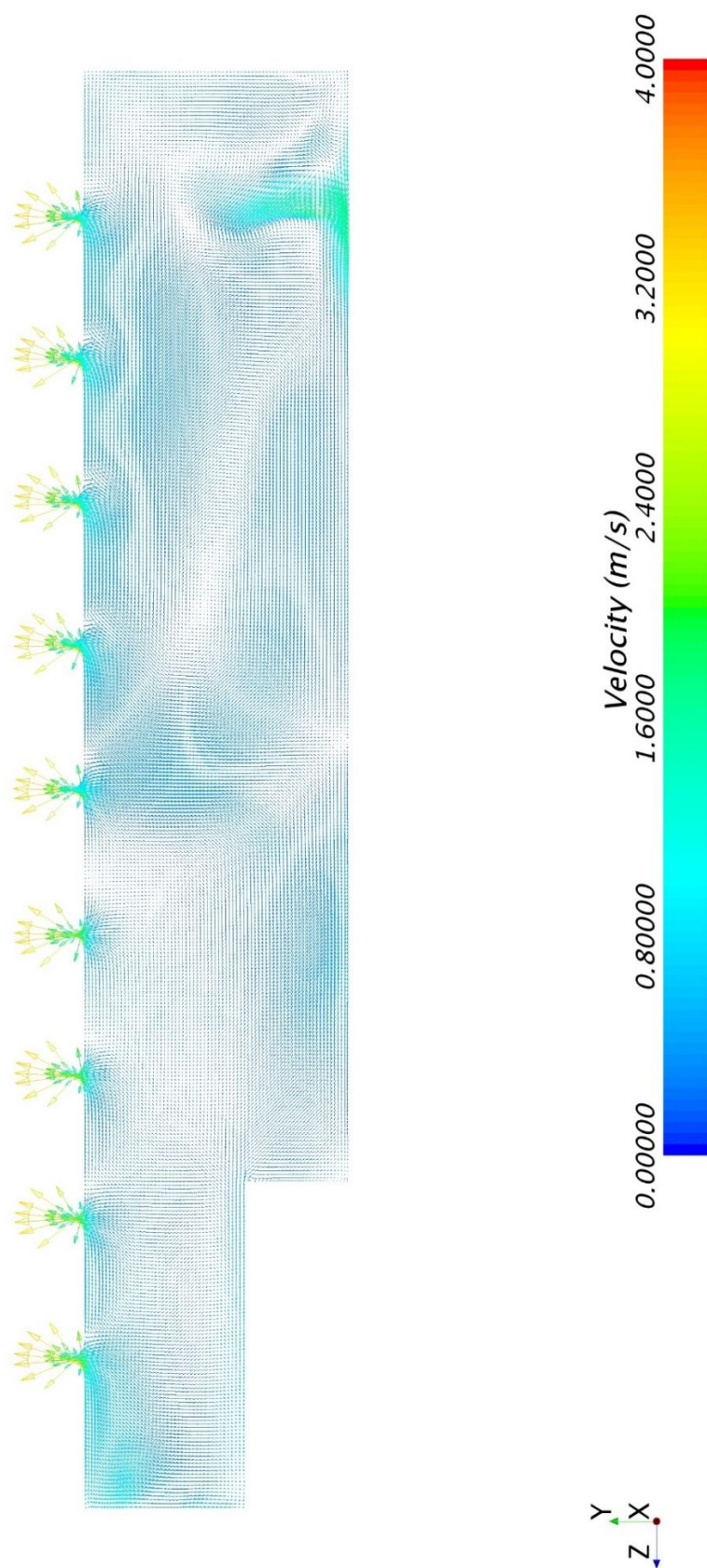
Rýchlostné pole



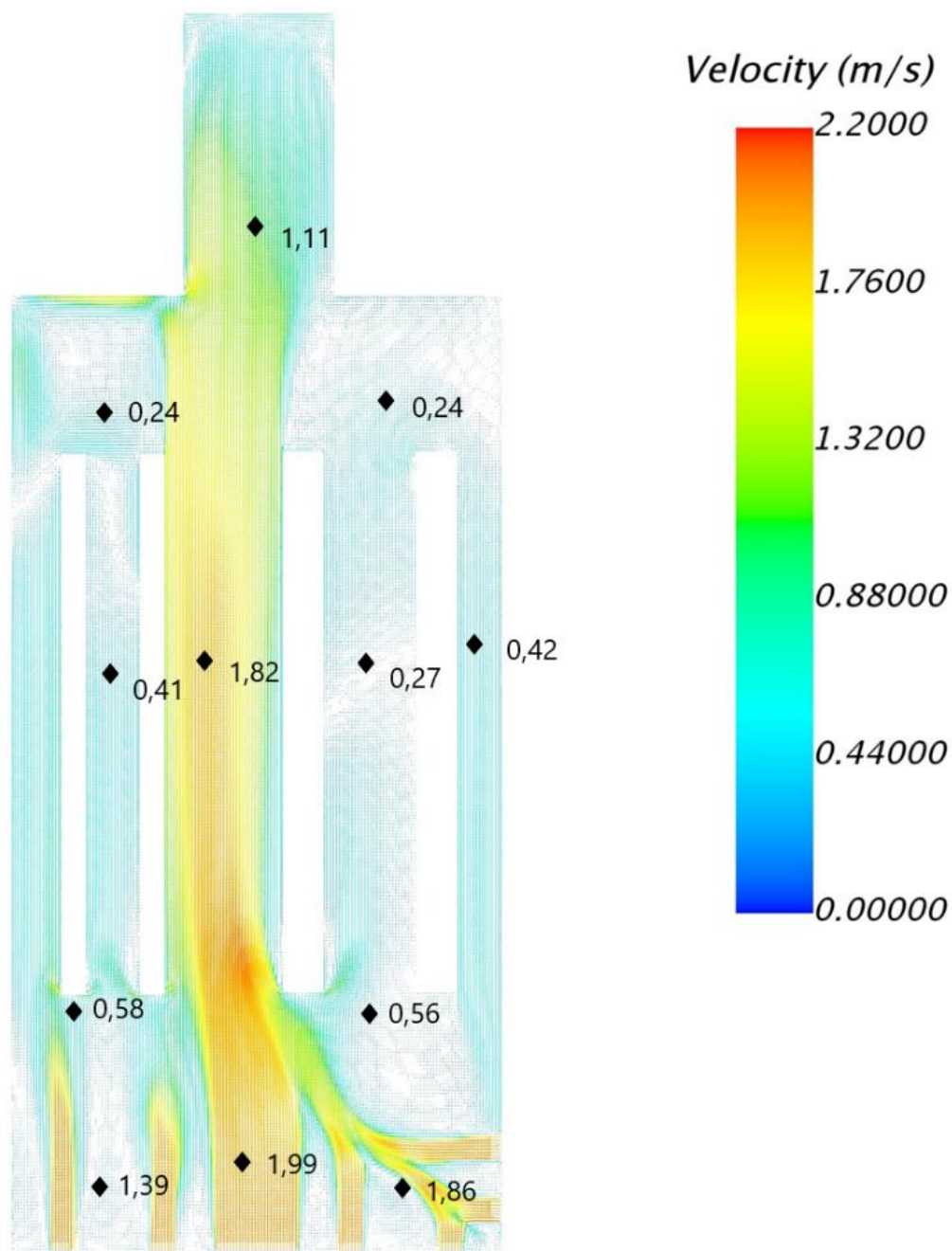
Obrázok 53 Rýchlostné pole v priečnom zvislom reze „A“

Zo zvislých rezov pozorujeme nielen vysoké rýchlosti, ktoré prúdia naprieč halou ale aj kumuláciu teplého vzduchu pod strešnou konštrukciou. Vyššie rýchlosti prúdenia pozorujeme v strednej časti haly čo je spôsobené veľkým množstvom prívodného vzduchu cez nákladné dvere. Vyššiu koncentráciu zvýšenej rýchlosti vzduchu taktiež vidíme v blízkom okolí odvodných otvorov. Z rýchlostného poľa v priečnom reze vidíme, že v krajných častiach je rýchlosť vzduchu síce menšia ale napriek tomu tu stále rýchlosť prúdenia vzduchu presahuje 0,3 m/s.

V pozdĺžnom reze si všímame na začiatku haly prúd vzduchu ktorý narazí na čelnú stranu výrobnjej technológie a vzniká vír. Taktiež vidíme, že celá hala je dostatočne prevetraná a nevznikajú nám hluché miesta v ktorých by sa zdržiaval vzduch.



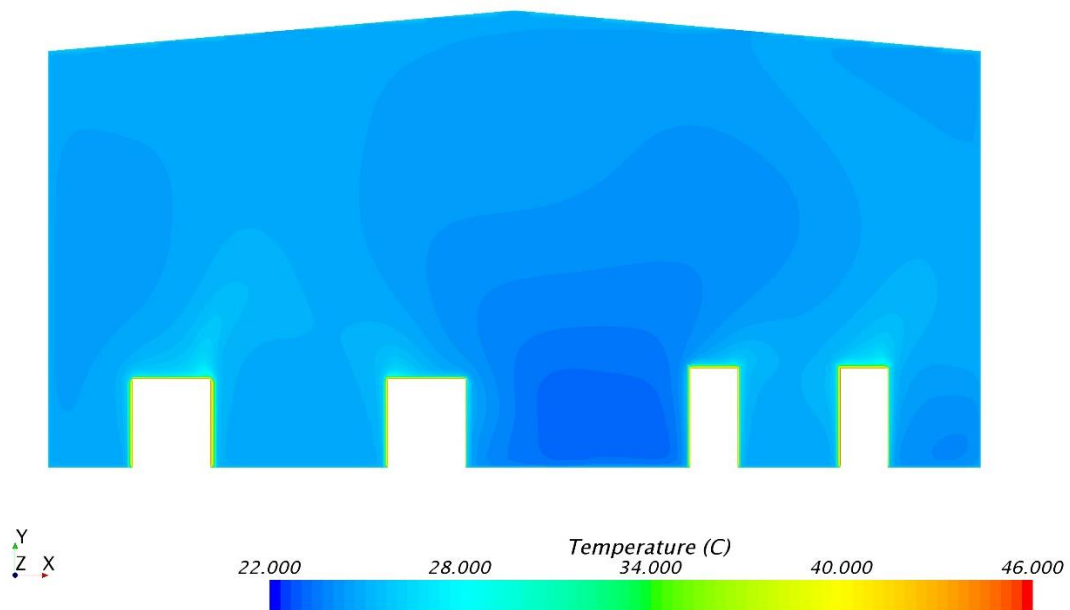
Obrázok 54 Rýchlostné pole v pozdĺžnom zvislom reze



Obrázok 55 Rýchlostné pole v pobytovej zóne

Na pôdorysnom reze v pobytovej zóne vidíme vysoké rýchlosti prevažne v celej hale. Rýchlosť vzduchu vo vybraných bodoch sa pohybuje od 0,24 do 1,99 m/s. Najväčší objem vzduchu prúdi cez veľkú príjazdovú bránu čo spôsobuje vo vnútri objektu rýchle prúdenie vzduchu v priestore medzi technológiou. Taktiež tento masívny prúd vzduchu zo sebou strháva menšie prúdy z okien a tým nám vytvára veterný tunel stredom haly. Naopak najmenší pohyb vzduchu vidíme až na konci haly kde sa nám rýchlosť pohybuje okolo 0,24 m/s.

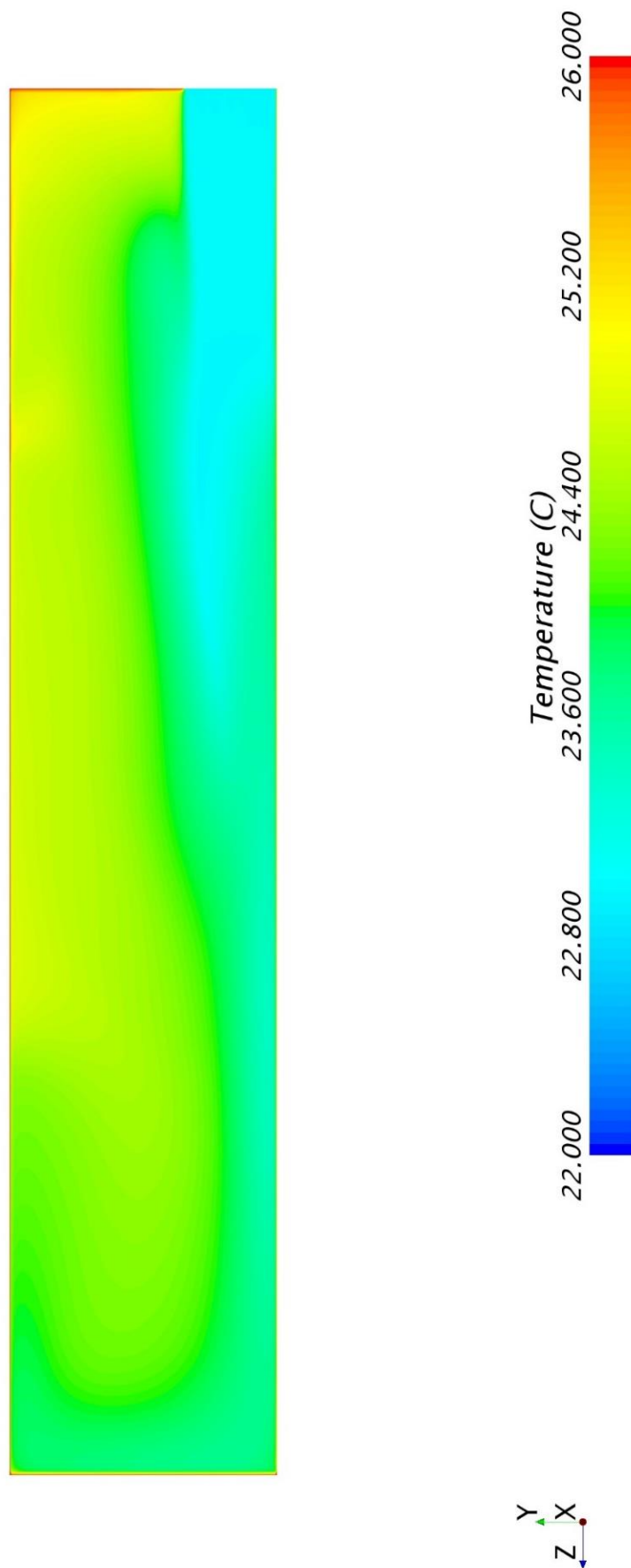
Teplotné pole



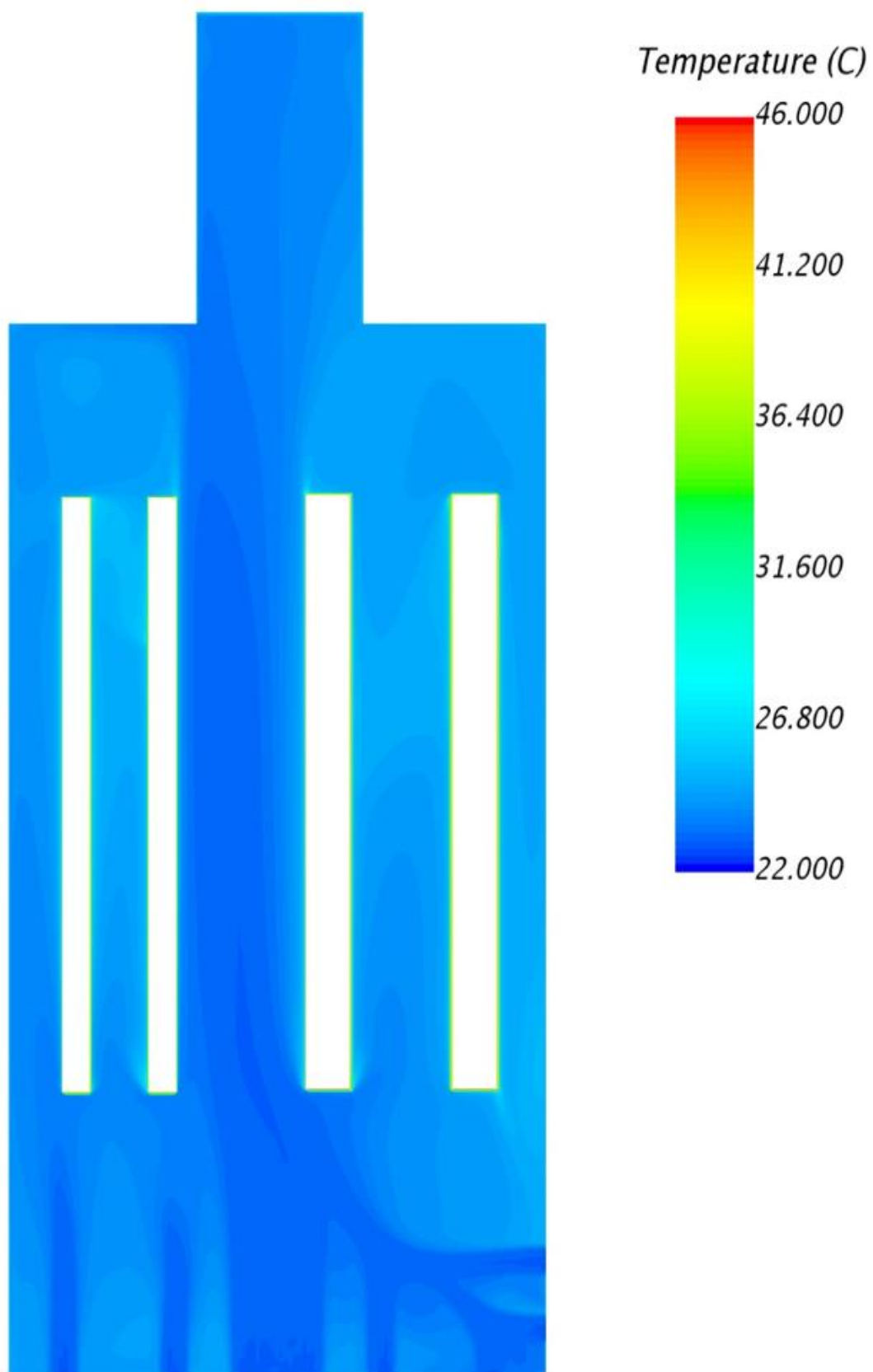
Obrázok 56 Rozloženie teploty v priečnom reze

Pri porovnaní rozložení teplôt v priečnom reze z varianty 1 a 2 vidíme jasné odchýlky. Najnižšiu teplotu je vidieť v strednej časti kadiaľ najviac prúdi čerstvý vzduch. Krajné časti medzi výrobnou technológiou sú ovplyvnené sálavým teplom od výrobných technológií. Taktiež je možné pozorovať, že teplý vzduch prúdi pod strešnú konštrukciu kde sa koncentruje a následne odvedený pomocou strešných svetlíkoch.

Priečny rez je vedený priamo stredom haly cez najväčší prírodný otvor. V tomto reze si všímame rozloženie teploty po výške haly. Do objektu nám vstupuje chladný vzduch, ktorý postupom do priestoru stráca intenzitu. Ako sa vzduch prechodom haly zahrieva od výrobných technológií, na západnej časti haly sa nám už nedostáva dostatočné množstvo chladného vzduchu, čo nám spôsobuje vyššie teploty. Zvýšená koncentrácia teplého vzduchu je v rohu pod stropnou konštrukciou na začiatku haly.



Obrázok 57 Rozloženie teploty v pozdĺžnom reze



Obrázok 58 Rozloženie teploty v horizontálnom reze (výška 1,5m)

V horizontálnom reze sledujeme rozloženie teploty. Najnižšie teploty vidíme pozdĺžne v stredovej časti, je to spôsobené hlavne veľkým množstvom prívodného vzduchu. Aj napriek vysokým rýchlostiam v krajných častiach vidíme vplyv teploty od výrobnjej technológie. V krajných oblastiach je teplota vyššia o 1,7 °C, ako v strednej časti kadiaľ prúdi najväčšie množstvo vzduchu.

2.6.3. Vyhodnotenie alternatívnej varianty

Aj napriek tomu, že v hale vznikajú vysoké rýchlosti, tento typ vetrania nie je úplne nevýhodný. Treba si uvedomiť, že vietor je prírodná sila ktorú človek nedokáže ovplyvniť. V simulácii modelujeme stav pri rýchlosti vetra 2 m/s, pri otvorení všetkých otvorov na maximum a teplote exteriéru 23°C. Ak by sme dokázali napríklad pomocou žalúzií regulovať množstvo prívodného vzduchu vedeli by sme dosiahnuť omnoho priaznivejšie výsledky. Vetrание aeráciou v hale by bolo vhodné kombinovať v núteným systémom. Správnou reguláciou hybridného systému je možné dosiahnuť priaznivé mikroklimatické podmienky a rovnako aj eliminovať celkové prevádzkové náklady.

2.7. Záver

Výsledkom prvej CFD simulácie bolo optimalizovanie súčasného stavu návrhu vzduchotechniky prevzatého z bakalárskej práce *Vzduchotechnika výrobní haly*. Pri simulácii súčasného stavu bola priemerná rýchlosť v pobytovej zóne vysoká a úpravou výšky prívodných elementov bola dosiahnutá priateľená rýchlosť vzduchu v pobytovej zóne 0,21 m/s.

Z CFD simulácie prirodzeného vetrania sú viditeľné vysoké rýchlosti prúdenia ale aj vyššiu teplotu vo vnútri haly pri zvolených vstupných parametroch. Keďže klimatické podmienky nedokážeme regulovať nie je možné jednoznačne určiť presné vstupné okrajové podmienky. Za najväčšiu výhodu prirodzeného vetrania sa dá považovať jeho jednoduchosť a nízke investičné a prevádzkové náklady a ako nevýhodu nemožnosť regulovať prietok vzduchu a riadiť systém vetrania.

Ideálnou verziou vetrania by bola kombinácia núteného systému s prirodzeným vetraním a využiť čo najefektívnejšie výhody oboch typov vetrania. Pri vyšších teplotách exteriéru najmä v lete by bolo vhodné využívať nútený systém vetrania v hale a v prechodnom období kedy nie sú vonkajšie teploty vysoké je vhodné využívať prirodzené vetranie. Kombináciou oboch verzií by sa dosiahlo priaznivého pracovného prostredia a zníženie prevádzkových nákladov na prevádzku VZT zariadenia.

Projektová časť bude zameraná na optimalizovanú variantu súčasného návrhu vzduchotechnického systému na úrovni projektu pre stavebné povolenie.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

PROJEKTOVÁ ČASŤ

3. TECHNICKÁ SPRÁVA

3.1. Úvod

Táto časť dokumentácia pre stavebné povolenie stavby rieši zariadenie vzduchotechniky novostavby výrobné haly v priemyselnej zóne pri meste Brno. Hala je navrhnutá ako výrobná a skladová s príslušným administratívnym, hygienickými a technickým zázemím. Objekt je koncipovaný jednopodlažný a administratívna budova je dvojpodlažný.

3.1.1. Podklady pre spracovanie

Návrh riešenia bol spracovaný podľa poskytnutých aktuálnych podkladov hlavne výkresov stavebného riešenia objektu, príslušných zákonov a vyhlášok, českých technických noriem a podkladov od výrobcu.

Výpis použitých noriem a predpisov:

- Větrání a klimatizace – J.Chyský, K.Hemzal a kol. (1993)
- Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. - Kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci (vč. novelizací)
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. - O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- ČSN 73 0548 – Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů
- ČSN 12 7010 – Navrhování větracích a klimatizačních zařízení
- ČSN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb – nevýrobní objekty
- ČSN 73 0804 – Požární bezpečnost staveb – výrobní objekty
- ČSN 73 0872 – Požární bezpečnost staveb – Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízení
- ČSN EN 1505 – Kovové plechové potrubí a armatury pravoúhleho průřezu – Rozměry
- ČSN EN 1507 – Kovové plechové potrubí pravouhlého průřezu – Požadavky na pevnost a těsnost
- TERUNA – program pro výpočet tepelné zátěže a tepelné izolace
- AEROCAD – program pro návrh vzduchotechnických jednotek

3.1.2. Klimatické podmienky miesta stavby

Miesto: Brno

Nadmorská výška: 205 m n.m.

Výpočtový tlak vzduchu: 98 kPa

Výpočtové parametre vzduchu zima / leto: -12°C / + 29°C; entalpia leto 56 kJ/kg

3.1.3. Výpočtové hodnoty vnútorného prostredia

Zariadenie bolo navrhnuté na parametre vnútorného prostredia uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Priestor	Výpočtová zimná teplota	Výpočtová letná teplota	Požadovaná vlhkosť
Výrobná hala	19	27	neriadená

Hlukové parametre:

- Max. hladina hluku 45 dB(A) pre kancelárie, 55 dB(A) pre ostatné priestory administratívy, pre skladovacie priestory a výrobnú halu 60 dB(A)
- Hladina akustického tlaku pre vonkajší priestor max. $L_a = 65$ dB(A) v 5m od zariadenia

3.2. Základné koncepčné riešenie

Na základe požiadaviek zo strany investora, technických štandardov a požiadaviek na mikroklima prostredia sú všetky priestory v objekte vetrané alebo klimatizované pomocou vzduchotechnického systému. Pre vetranie a klimatizáciu používame 3 zariadenia. Zariadenia č. 1 obsluhuje výrobnú halu, zariadenie č. 2 obsluhuje skladovacie priestory a zariadenia č.3 spolu so systémom VRV obsluhuje administratívu. Systém je navrhnutý podľa požiadaviek vyššie uvedených predpisov, noriem ČSN a nariadenia vlády.

3.2.1. Hygienické vetranie

Minimálne hygienické dávky čerstvého vzduchu:

- z WC..... 50 m³/h
- zo sprchy..... 150 m³/h
- z pisoáru..... 25 m³/h
- z umývadla..... 30 m³/h
- z upratovacej miestnosti.... 50 m³/h
- z kancelárie..... 50 m³/h
- šatníková skriňa..... 20 m³/h
- výrobná hala..... 70 m³/h
- Údržba strojov..... 90 m³/h

Prevádzkové podmienky:

Obsadenosť plôch

- Kancelárie 7,5 m² / osoba
- Zasadacie miestnosti, jedálne 4,5 m² / osoba
- Šatne podľa počtu skriniek

3.2.2. Energetické zdroje

Elektrická energia

Elektrická energia je uvažovaná pre pohon elektromotorov VZT zariadenia vrátane zdroja chladu – sústava 3 + PEN, 50 Hz, 400/230V

Tepelná energia

Pre ohrievanie vzduchu využívame vodné výmenníky umiestnených vo VZT jednotke. Pracovná teplota vody výmenníkov je 90/70°C. Dodávku teplej vody zaistí profesia ÚT. Pre chladenie vzduchu je navrhnuté priame chladenie. Rozvody chladiva vrátane kabeláže zaistí profesia CHLADENIA.

3.3. Popis technického riešenia

3.3.1. Koncepcia vetracích a klimatizačných zariadení

Návrh riešenia vetrania a klimatizácie priestorov je riešený s ohľadom na požiadavky investora, záväzné normy a predpisy. Pre rozvod vzduchu sa počíta s nízkotlakovým systémom.

Navrhnutá VZT zariadenia sú rozdelené do funkčných zón:

Zariadenie č. 1 – Centrálny vzduchový systém klimatizácia – výrobná hala

Vetranie výrobnéj haly je zabezpečené nútené pomocou centrálnej vzduchotechnickej jednotky umiestenej v strojovni VZT. Čerstvý vzduch je nasávaný nad strechou objektu a vedený do jednotky. Tá je zložená na prívode zo zmiešavacej komory, klapky, filtru M5, vodného ohrievaču a priameho chladiča a ventilátoru. Upravený vzduch je vedený pozinkovaným potrubím do haly kde je rozvedený do priestoru celej haly pomocou vírivých difúzorov, ktoré sú pripojené pomocou flexibilných hadíc. Zariadenie bude pracovať s obehovým vzduchom.

Teplota prírodného vzduchu je celoročne 20°C. Tepelné straty v zimnom období a tepelné zisky v letnom období pokrýva jednotka VZT.

Znehodnotený vzduch je odsávaný z priestoru výrobné haly pomocou kužeľových difúzorov a vedený potrubím do strojovne. Na odťahu je jednotka zložená z filtru G3, zmiešavacej komory, klapky a ventilátoru. Odpadný vzduch je vyvedený nad strechu. Súčasťou rozvodov vzduchu sú tlmiče hluku a regulačné klapky. Rozvody VZT sú tepelne izolované podľa grafického znázornenia v PD.

3.4. Meranie a regulácia

Navrhnutý vzduchotechnický systém bude riadený a regulovaný samostatným systémom merania a regulácie – profesia MaR. Základné funkčné parametre:

- Ovládanie chodu ventilátoru, silové napájanie ovládaných zariadení
- Zaistenie tlmeného konkrétnych zariadení mimo pracovný cca 12 max výkonu na prívodu a odvodu vzduchu (jednootáčkové motor 6-60 Hz), zaistenie tlmeného chodu – frekvenčné meniče
- Regulácia teploty vzduchu riadeným výkonom teplovodných ohrievačov v zimnom aj letnom období
- Regulácia teploty vzduchu vodného chladiča – ovládaním prietoku teplonosnej látky
- Umiestnenie teplotných senzorov podľa požiadaviek
- Riadenie účinnosti proti námrazovej ochrany doskového výmenníku nastavovaním obtokovej klapky (na základe teploty odpadného vzduchu alebo tlakovej straty)
- Ovládanie uzavieracích klapiek v jednotke vrátane dodania servopohonou
- Proti námrazová ochrana teplovodného výmenníku – meranie na strane vzduchu i vody. Pri poklesnutí teploty
1.- vypnutie ventilátoru, 2.- uzatvorenie klapiek, 3.- otvorenie trojcestného ventilu, 4.- spustenie čerpadla
- Signalizácia bezporuchového chodu ventilátoru pomocou diferenčného snímača tlaku
- Meranie a signalizácia zanášania (tlakovej straty) všetkých stupňov filtrácie
- Poruchová signalizácia
- Pripojenie regulácie a signalizácie stavu všetkých zariadení na veliace centralizované stanovisko
- Zaistenie požadovaných súčasnosti chodu jednotlivých zariadení v príslušných funkčných celkoch
- Signalizácia požiarnej klapky (Z/O) – podružná signalizácia polohy na panel požiarnej klapky (VZT dodá ku každej klapke koncový spínač 24V)

3.5. Požiadavky na profesie

3.5.1. Stavba

- Zaistí prípravu prestupov a šachiet
- Zaistí dopravné a montážne cesty vrátane prípadne montážnych otvorov
- Zaistí koordináciu rozvodov a zariadenia VZT s ostatnými profesiami
- Preverí a zaistí statické riešenie s ohľadom na umiestnenie VZT
- V priestoroch s podhládmi zaistí revízne a kontrolné otvory pre prístup k jednotlivým VZT zariadeniam
- Zaistí prípadné nátery VZT prvkov umiestnených na fasáde, streche objektu
- Obloženie a zatesnenie prestupov VZT potrubia izolačnými proti otrasovými hmotami v rámci zapravenia
- Zatesnenie a oplechovanie prestupov
- Zaistí povrchové úpravy podlahy pre bezprašnú prevádzku

3.5.2. Silnoprúd

- Silové napojenie a spustenie jednotlivých ventilátorov zariadení č. 1 vrátane zaistenia časového dobehu
- Ovládanie uzatvárania požiarnych klapiek (pri spustení ventilátoru dôjde k otvoreniu klapky servopohon na 230V – zaistí profesia VZT)
- Opatrenia el. zariadení výstražnými štítkami podľa ČSN ISO 3864
- Elektrické zariadenia budú pripojené podľa ČSN 332180, 332000-, 332000-4-46, 332000-5-537

3.5.3. Zdravotná technika

- Zaistí odvody kondenzátu (od klimatizačných jednotiek) do kanalizácie vrátane zápachových uzávierok
- Zaistí umiestnenie podlahovej vpuste v strojovne VZT (nerezová alebo kameninová vpusť)

3.5.4. ÚT

- Zaistí pripojenie ohrievačov centrálnej VZT jednotky na vykurovaciu vodu vrátane regulačného uzlu
- Zaistí rozvody teplej vody

3.5.5. EPS

- Zaistí vypnutie VZT v prípade požiaru
- Zaistí ovládanie a sledovanie funkcie požiarnej klapky
- Ovláda požiarne vetranie CHUC

3.6. Protihlukové a proti dažďové opatrenia

Do rozvodných potrubí budú vložené tlmiče hluku, ktoré zabránia nadmernému šíreniu hluku od ventilátorov do vetraných miestností. Tieto tlmiče budú osadené na prírodných a odvodných potrubných rozvodov vzduchovodov. Všetky točivé stroje (jednotky, ventilátory) budú pružne uložené za účelom zmenšenia vibrácií prenášajúcich sa stavebnými konštrukciami – staviteľné nohy budú podložené ryhovanou gumou. Všetky vzduchovody budú napojené na ventilátory cez tlmiace vložky. Potrubie na závesoch bude podložené tlmiacou gumou.

Všetky prestupy VZT potrubia stavebnými konštrukciami budú obložené a zatesnené izoláciou – zaistí profesia STAVBA. Prestupy do požiarnej úseky a požiarne klapky budú zatesnené protipožiarnej tmelom – zaistí profesia STAVBA.

3.7. Nátery a izolácie

3.7.1. Nátery

V priestoroch vo výrobných haly, skladovacích priestoroch sú všetky konštrukcie viditeľné a opatrené matnou čiernou farbou. Nástrek potrubia zaistí STAVBA.

Zariadenia VZT, ktoré sú umiestnené nad podlahou sú bez použitia náterov. Všetky zariadenia sú s originálnou povrchovou antikoróznou úpravou obvykle zinkované.

3.7.2. Izolácie

Potrubné rozvody s vedením vzduchu s inou teplotou než okolitého prostredia je opatrené tepelnou izoláciou. Je použitá izolácia hrúbky 60 mm (40 mm) a polepené Al fóliou. Prevedenie upevnenia je riešené štandardným spôsobom na trne. Rozsah izolácií je uvedený na výkresovej dokumentácii.

3.8. Protipožiarne opatrenia

Všetky prestupy CU potrubia prechádzajúce cez požiarne deliace konštrukcie budú opatrené protipožiarnej upchávkami. Do vzduchovodov prechádzajúcich stavebnou konštrukciou ohraničujúcu určitý požiarnej úsek budú vŕazané protipožiarne klapky, zabráňujúce v prípade požiaru v niektorom požiarnej úseku jeho šírenie do ďalších

úsekov alebo na celý objekt. V prípadoch kedy nebude protipožiarnu klapku možno osadiť do požiarne deliacej konštrukcie bude potrubie medzi touto konštrukciou a požiarou klapkou opatrené izoláciou s požadovanou dobou odolnosti. Osadené požiarne klapky budú v prevedení so servopohonom a signalizáciou 24V.

3.9. Montáž, prevádzka, údržba a obsluha zariadenia

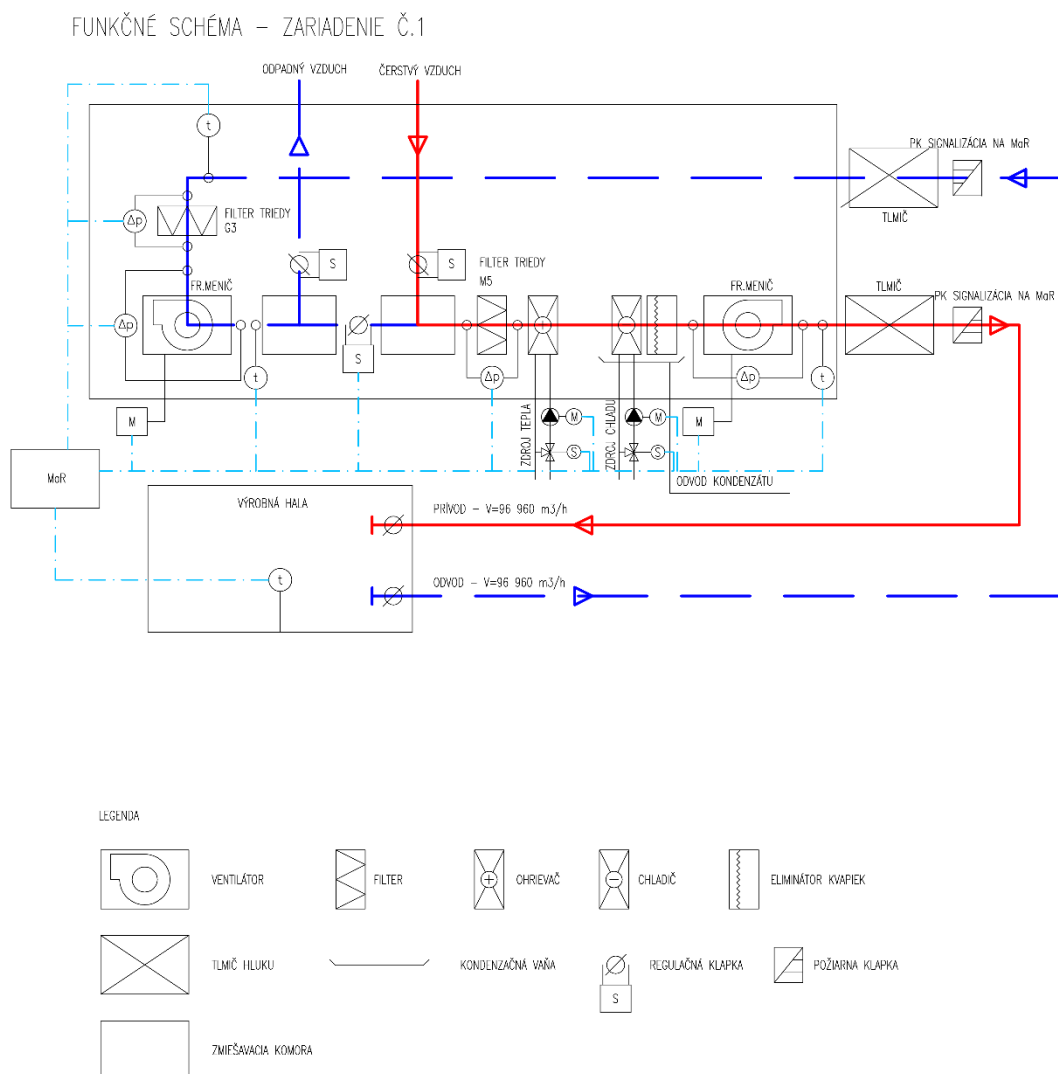
- Realizačná firma v rámci svojej dodávky zhotoví rozpis VZT potrubia pre výrobné a montážne účely (rozdelenie vzduchovodov na jednotlivé tvarovky a rúry vrátane potrebných domerov) vrátane kontroly PD v zmysle úplnosti § 55 obchodného zákonníka.
- Realizačná firma pred necenením zhotoví prehliadku stávajúcich priestorov a presný rozsah. Rozvody VZT budú inštalované pred ostatnými profesiami – priestorové nároky.
- Všetky proti dažďové žalúzie budú tvorené z pozinkovaného plechu pripravenými k prípadnému náteru – architektonického riešenia zaistí STAVBA.
- Pri montáži požiarnych klapiek budú zaistené prístupy pre následné revízie – potrebná opätovná koordinácia zo stavebnou profesiou v priebehu realizácie výstavby.
- Osadenie VZT jednotiek bude zhotovené na podložky z ryhovanej gumy.
- Pri zregulovaní systému VZT s motormi ovládanými frekvenčnými meničmi je potrebné nastavenie požadovaných vzduchových výkonov koordinovať s profesiou MaR.
- Montáž všetkých VZT zariadení bude zhotovená odbornou montážnou firmou. Navrhnutá VZT zariadenia budú montované podľa montážnych predpisov jednotlivých VZT prvkov.
- Všetky odbočky, rozbočky a nadstavce na štvorhranných potrubných rozvodoch budú vybavené nábehovými plechmi – tretí stupeň regulácie.
- Pripojenie koncových elementov pre prívod a odvod vzduchu bude zhotovený ohybnými hadicami, vid'. Popis zariadenia.
- Pri montáži musí byť dodržané všetky bezpečnostné opatrenia podľa platných bezpečnostných predpisov. Všetky zariadenia musia byť vyskúšaná a zregulované. Pri zregulovaní vzduchotechnických systémov bude postupované v súčinnosti s profesiou MaR. Užívateľ musí byť riadne zoznámený s funkciou, prevádzkou a údržbou zariadenia.
- VZT zariadenie, nastavené a odovzdané do trvalej prevádzky, môže byť obsluhované iba riadne zaškolenými pracovníkmi, a to podľa prevádzkových predpisov dodávateľov vzduchotechnických zariadení, pokiaľ nie je v PD uvedené inak. Pri prevádzke zodpovedá za bezpečnosť práce prevádzkovateľ. Všetky podmienky pre bezpečnú prácu musia byť uvedené v prevádzkovom poriadku. Vypracovanie prevádzkového poriadku vrátane zaškolenia obsluhy zaistí dodávateľ.

- VZT zariadenie musí byť pravidelne kontrolované, čistené a udržiavané v stále prevádzke schopnom stave. Okolie zariadenia musí byť vždy čisté a prístupné pre ľahkú kontrolu a bezpečnú obsluhu alebo údržbu. Vizuálne bude hygienická účinnosť prevádzky (filtračné časti) jednotlivých KLM zariadení kontrolované najmenej jeden krát za týždeň, v rámci profesie MaR bude kontrolované zanášania jednotlivých stupňov filtrácie (prostredníctvom merania tlakovej diferencie filtrov). O kontrolách a údržbe musí byť vedený záznam a ich frekvencia bude určená v prevádzkovom poriadku – zaistí dodávateľ.
- Výmena čiastkových prvkov vzduchotechnických zariadení a následné hospodárenie s nimi bude vykonané podľa predpisov jednotlivých výrobcov.
- Navrhnuté VZT a KLM zariadenia budú riadené a regulované samostatným systémom merania a regulácie – profesia MaR. Údržbu a kontrolu nad chodom zariadenia bude zaisťovať technický správca, ktorý musí byť pre túto činnosť zaškolený.

3.10. Záver

Navrhnuté vetracie a klimatizačné zariadenie splňuje nároky kladené na prevádzku daného typu a charakteru. Zabezpečí v daných miestnostiach optimálnu pohodu a čistotu prostredia požadovanú predpismi.

3.11. Funkčné schéma



Obrázok 59 Funkčné schéma pre zariadenie č.1

3.12. Výkaz výmer

Označenie položky	Položka	Merná jednotka	Množstvo	Poznámka
Zariadenie č.1- Ústredný vzduchový systém klimatizácia				
1.01	Zostava jednotky Mandík: 2x ventilátor, vodný chladič, vodný ohrievač, filter M5 a G3, regulačné klapky, zmiešavacie komory 2x	ks	1,0	
	Zostavená klimatizačná jednotka Mandík vč. Frekvenčných meničov. MaR dodávka profesie MaR	klp	1,0	
1.02	Tlmič hluku kulisový THKU.2000.2000.900-3 5x KTH.200.2000.9000	ks	1,0	
1.03	Tlmič hluku kulisový THKU.2250.2250.4300 7x KTH.200.2250.4300	ks	1,0	
1.04	Potrubie štvorhranné, pozinkované. Trieda tesnosti D, podľa ČSN EN 1507, 30% tvaroviek	m	310,0	
1.05	Požiarna klapka PKTM120 1800x1800 mm	Ks	2,0	
1.06	Proti dažďová žalúzia 1300x1500 mm	ks	4,0	
1.10	Vírivý anemostat TRB 500	Ks	48,0	
1.11	Regulačná klapka štvorhranná RKTM 1600x1600mm	Ks	4,0	
1.12	Tepelná izolácia s Al polepením, hr.60 mm.	m	30,0	
1.13	Tepelná izolácia s Al polepením, hr. 40 mm	m	120,0	
1.14	Spojovací a tesniaci materiál	klp	1,0	

ZÁVER

V teoretickej časti diplomovej práce sú spracované základné princípy prirodzeného vetrania budov, druhy prirodzeného vetrania a využitie jednotlivých spôsobov vetrania v obytných a priemyselných budovách.

Cieľom diplomovej práce bolo vytvorenie dvoch verzií matematicko-fyzikálneho modelu výrobnéj haly a zhodnotenie kvality vnútorného prostredia. V prvej verzii, ktorá bola navrhnutá v bakalárskej práci, bola na základe výsledkov z CFD simulácie optimalizovaná výška prírodných a odvodných výustiek, vďaka čomu bolo možné dosiahnuť priaznivé výsledky v pobytovej zóne miestnosti. V druhej verzii bolo v objekte navrhnuté prirodzené vetranie. Alternatívna verzia nevyhovela najmä kvôli vysokým rýchlostiam vzduchu v pobytovej zóne.

Projektová časť bola zameraná na optimalizované pôvodné riešenie návrhu VZT na úrovni projektu pre stavebné povolenie.

POUŽITÁ LITERATÚRA

Knihy a akademické práce

1. FERSTL, Karol, Richard NOVÝ a Marta SZÉKYOVÁ. *Vetranie a klimatizácia*. Bratislava: Jaga group, 2004. ISBN 80-8076-000-4.
2. CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. *Větrání a klimatizace*. Praha, 1993. ISBN 80-9015740-8.
3. HIRŠ, Jiří a Günter GEBAUER. *Vzduchotechnika v příkladech 1*. Brno, 2006. ISBN 80-7204-486-9.
4. ETHERIDGE, David. *Natural ventilation of buildings*. I. 2012. ISBN 9780470660355.
5. GOODFELLOW, Howard a Esko TAHTI. *Industrial Ventilation: Design Guidebook*. 2001. ISBN 0-12-289676-9.

Elektronické zdroje

6. DRZKAL, František, Miloš LAIN, Jan SCHWARZER a Vladimír ZMRHAL. *Vzduchotechnika*[online]. Praha, 2009, , 134 [cit. 2016-05-12]. Dostupné z:https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/VZT/Vzduchotechnika.pdf
7. SINGH, Vishal. Energy Efficient Ventilation Systems. *Ventilation Systems* [online]. 2014 [cit. 2016-05-05]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/vishal1200/ventilation-techniques>
8. *Engineering Guide, Natural Ventilation* [online]. Price industries Limited, 2011 [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.priceindustries.com/content/uploads/assets/literature/engineering-guides/natural-ventilation-engineering-guide.pdf>.
9. RUBINA, Aleš. *Vzduchotechnika* [online]. FASTVUTBR, 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://lms.fce.vutbr.cz/login/index.php>
10. WALKER, Andy. *Natural Ventilation: Natural Ventilation Principles* [online]. Japan: Ministry of Environment, 2010 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.eh-cmap.eu/e-learning?id=1291>.
11. KAPALO, Peter. Rekonštrukcia vetracieho systému v bytovom dome. *TZBportal.sk* [online]. [cit. 2016-05-66]. Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/kurenie-voda-plyn/rekonstrukcia-vetracieho-systemu-v-bytovom-dome-1-cast.html>

12. *Stack Ventilation and Bernoulli's Principle* [online]. Autodesk, Inc., 2015 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/stack-ventilation-and-bernoullis-principle>
13. DE GIDS, W.F. a Miroslav JÍCHA. *Hybridní ventilace – 1. část* [online]. 2014 [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/uspory-energie-vetrani-klimatizace/10866-hybridni-ventilace-1-cast>

Obrázkové zdroje

14. <http://proclima.co.nz/air-movement-infiltration>
15. <http://climatic.dk/Hybrid.26.aspx>
16. http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Fenestration&lang=4
17. http://www.switchnewmedia.com/clients/Carbon_Trust/9_Andrew_McDowell/thumbs.html
18. <http://letucefs.wikispaces.com/Passive+ventilation+design+in+building+construction?responseToken=56fde064d34d0a77c792feaabb1f18c7>
19. <http://www.vent.co.uk/natural-ventilation/natural-systems.php>
20. <https://www.homelogic.co.uk/importance-of-airtightness-in-construction/>
21. <http://www.ekspertbudowlany.pl/artykul/id2544,jakie-sa-skutki-zlej-wentylacji>

Normy

22. ČSN 73 0872 – Požární bezpečnost staveb. Ochrana staveb proti šíření požáru vzduchotechnickým zařízením
23. ČSN 73 0540-2 – Tepelná ochrana budov
24. ČSN 12 7010 – Vzduchotechnika zařízení
25. Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: č. 148/2006 Sb. 2006.
26. ČSN 73 0548- Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů

Návrhové programy

RUBINOVÁ, Olga, Aleš RUBINA a Zdeněk TESA, *TERUNA: Modelovanie mikroklíma a navrhovania vzduchotechniky*. VUT Brno, [online] 2010. Dostupné z: <http://www.technikabudov.cz/software.html>

Halton HIT Desing, program na návrh distribučných elementov. [online] Dostupné z: https://www.halton.com/es_US/halton/products/halton-hit-design-tool

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1 Princíp rozdelenia tlakov [1].....	14
Obrázok 2 Pôsobenie vetra na budovu [8].....	15
Obrázok 3 Rozdelenie tlakov vyvolaných vetrom [8]	15
Obrázok 4 Prúdenie vzduchu v miestnosti [4]	17
Obrázok 5 Prúdenie vzduchu v miestnosti [16].....	17
Obrázok 6 Prúdenie vzduchu [7].....	18
Obrázok 7 Infiltrácia obálkou objektu [20].....	20
Obrázok 8 Okno s integrovanou vetracou štrbinou [21].....	21
Obrázok 9 Infiltrácia a exfiltrácia obálkou budovy [13]	21
Obrázok 10 Vetrание oknami [18]	22
Obrázok 11 Rozloženie tlakov v otvore [1].....	23
Obrázok 12 Priechne vetranie budovou [1]	23
Obrázok 13 Aerácia [19].....	24
Obrázok 14 Rozloženie tlakov medzi otvormi [3].....	25
Obrázok 15 Hodnoty prietokového súčiniteľa u [1]	25
Obrázok 16 Umiestnenie letných a zimných otvorov [1].....	27
Obrázok 17 Veterná zástena [1].....	27
Obrázok 18 Konštrukcie strešného svetlíka [1]	28
Obrázok 19 Aerácia viacpodlažných hál [1].....	29
Obrázok 20 Prívod vzduchu ventilátorom [1].....	29
Obrázok 21 Prívod vzduchu podzemným kanálom [1].....	29
Obrázok 22 Šachtové vetranie [19]	30
Obrázok 23 Vľavo samotáhová hlavica, napravo vetracia turbína	31
Obrázok 25 Šachtové vetranie bez prívodu vzduchu [1]	32
Obrázok 24 Šachtové vetranie s prívodom vzduchu [1].....	32
Obrázok 26 Združené šachtové vetranie [1]	33
Obrázok 27 Šachtové vetranie spoločným [1]	33
Obrázok 28 Šachtové vetranie s pomocným a zberným prieduchom [1]	33
Obrázok 29 Solárny komín [12]	34
Obrázok 30 Solárny komín [4].....	34
Obrázok 31 Hybridné vetranie [17]	37
Obrázok 32 3D Model haly	42
Obrázok 33 Pôdorysné schéma objektu	43
Obrázok 34 Priebeh tepelnej záťaže	46
Obrázok 35 Aerácia	46
Obrázok 36 Pôdorys rozmiestnenia otvorov.....	48
Obrázok 37 3D model výpočtovej siete	49
Obrázok 38 Rozmiestnenie prívodných a odvodných koncových prvkov.....	52
Obrázok 39 Zjednodušený tvar technológie	52
Obrázok 40 Prúdenie vzduchu z HALTON HIT	54
Obrázok 41 Vodorovný rez vo výške 1,5 m	55

Obrázok 42 „Priečny rez A“ a „Pozdĺžny rez B“	55
Obrázok 43 Rýchlostné pole v zvislom priečnom reze A	56
Obrázok 44 Rýchlostné pole v zvislom pozdĺžnom reze B	57
Obrázok 45 Horizontálny rez v pobytovej zóne vo výške 1,5 m	58
Obrázok 46 Teplotné pole v zvislom priečnom reze A	59
Obrázok 47 Teplotné pole v pobytovej zóne 1,5 m od podlahy	60
Obrázok 48 Teplotné pole v zvislom pozdĺžnom reze B	61
Obrázok 49 3D model prírodných a odvodných otvorov	63
Obrázok 50 3D model umiestnenia výrobných technológií	64
Obrázok 51 Horizontálny rez v pobytovej výške 1,5 m	65
Obrázok 52 Priečny rez "A", Pozdĺžny rez "B" a "C"	65
Obrázok 53 Rýchlostné pole v priečnom zvislom reze „A“	66
Obrázok 54 Rýchlostné pole v pozdĺžnom zvislom reze	67
Obrázok 55 Rýchlostné pole v pobytovej zóne	68
Obrázok 56 Rozloženie teploty v priečnom reze	69
Obrázok 57 Rozloženie teploty v pozdĺžnom reze	70
Obrázok 58 Rozloženie teploty v horizontálnom reze (výška 1,5m)	71
Obrázok 59 Funkčné schéma pre zariadenie č.1	82

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Zn.	Veličina	Jednotka
S	Plocha	[m ²]
t _i	Teplota interiéru	[°C]
t _e	Teplota exteriéru	[°C]
V	Objemový prietok	[m ³ /h]
Δp	Tlaková strata	[Pa]
L _{wa}	Akustický výkon	[dB]
Q _{ch}	Chladiaci výkon	[kW]
Δt	Rozdiel teplôt	[K]
l	Dĺžka	[m]
d	priemer	[mm]
R	Tlaková strata trením	[Pa/m]
ξ	Súčiniteľ vrazených odporov	[-]
Z	Tlaková strata vrazenými odpormi	[Pa]
f	Frekvencia	[Hz]
v	rýchlosť	[m/s]
α	Súčiniteľ absorpcie	[-]
A	Pohltivá plocha	[m ²]
Q	Smerový činiteľ	[-]
r	vzdialenosť	[m]
φ	relatívna vlhkosť	[%]
n	násobnosť výmeny vzduchu	[h ⁻¹]
g	Gravitačné zrýchlenie	[m/s ²]

ZOZNAM PRÍLOH

Plagáty vizualizácií simulácií

P_01	Optimalizácia súčasného stavu – Rýchlostné pole	A3
P_02	Optimalizácia súčasného stavu – Teplotné pole	A3
P_03	Návrh prirodzeného vetrania – Rýchlostné pole	A3
P_04	Návrh prirodzeného vetrania – Teplotné pole	A3

Výkresy

V_01	Pôdorys 2.NP	A0
V_02	Rez výrobnou halou 4 .1	A4x5
V_03	Rez výrobnou halou 7.1	A4x3
V_04	Rez strojovne VZT 6.1	A3